FERIC

FOREST ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE OF CANADA
INSTITUT CANADIEN DE RECHERCHES EN GÉNIE FORESTIER

# Transport of Full Trees over Public Roads in Eastern Canada — A State of the Art Report

by

C.R. Silversides and R.L. Moodie

88-00256/

# Transport of Full Trees over Public Roads in Eastern Canada — A State of the Art Report

by

C.R. Silversides and R.L. Moodie

Special Report Nº SR-35

ENFOR Project P-312

December 1985

© Copyright 1985, Forest Engineering Research Institute of Canada

ISSN 0381-7733

DSS Contract Nº OSS84-00185
DSS File 55SS.KH405-4-0170

Contractor:
Forest Engineering Research Institute of Canada
143 Place Frontenac
Pointe Claire, Québec
H9R 4Z7
Tel. (514) 694-1140

Scientific Authority:
Mr. Brad Sutherland
Great Lakes Forest Research Centre, CFS
P.O. Box 490
Sault Ste-Marie, Ontario
P6A 5M7
Tel. (705) 949-9461

Science Contracting Officer:
Mr. R.N. Finlayson
Science and Professional Services, DSS
12C1 Place du Portage
11 Laurier Street
Hull, Québec
K1A 0S5
Tel. (819) 997-7349

This report is available from:

Forest Engineering Research
Institute of Canada
143 Place Frontenac
Pointe Claire, Québec
H9R 4Z7

ENFOR Secretariat
Canadian Forestry Service
Ottawa, Ontario
K1A 0E7

Ce rapport est aussi disponible en français.

The problem: How to transport such loads on public roads?

## FOREWORD

In Canada the major use of forest biomass for energy is by the forest industries. It amounts to 68 percent of the total consumption of forest biomass for energy, the remaining 32 percent is used for domestic heating.

The use of biomass for energy is considered to be captive to the forest industries and thus is not dependent upon the forces of market or price. For this reason it is possible to visualize the forest industries becoming more energy self-sufficient by the utilization of yet a greater part of the forest biomass. The economic transportation of full trees to the consuming mills will further encourage this development.

The Canadian Government program called ENFOR (Energy from the Forest) has supported this project, the purpose of which is to study how best forest biomass can be transported over public roads along with conventionally merchantable wood to the consuming mills.

## ABSTRACT

Full trees provide a load which is extremely nonuniform in size, weight and configuration. Over their length, trees may have heavy butt ends which are clean with no limbs, centre portions which are bulky and bushy with limbs of varying degrees of flexibility and with a central stem tapering to a fraction of its butt diameter. For this reason they present uneven weight both longitudinally and laterally and their bushiness creates a low bulk density.

Full trees have been transported successfully and economically in Canada with off-road trucks on private roads where size and weight constraints do not apply. Full trees have been transported successfully for the past six years on public roads in Germany. Trials in Finland, Norway and Denmark met with limited success and have been dropped. The transport of tree sections, where unlimbed trees are cut to a predetermined maximum length is under wide development in Sweden and Finland. Tree sections increase bulk density and permit better load distribution than do full trees. However, they require additional labour in the field.

In the United States full trees are transported on private roads. Thinnings from forest plantations in the Southern States have been successfully transported in specially designed trailers on public roads.

# TABLE OF CONTENTS


| | Page |
|---|---|
| FOREWORD | |
| ABSTRACT | ii |
| TABLE OF CONTENTS | iii |
| LIST OF FIGURES | v |
| LIST OF TABLES | vii |
| INTRODUCTION | 1 |
| THE LOAD | 2 |
| General Description of Tree Species | 2 |
| Key to Eastern Conifers | 4 |
| Tree Crown Diameter | 5 |
| Tree Crown Length | 7 |
| Branching Habit | 9 |
| Arrangement | 9 |
| Direction | 11 |
| Form | 12 |
| Size - diameter and length | 12 |
| Tree Lengths | 15 |
| Tree Weights | 21 |
| Contaminants | 29 |
| Load Bulk Density | 29 |
| Tree Sections | 36 |
| CANADA | 36 |
| Highway Regulations | 37 |
| Possible Loads on Public Roads | 39 |
| Hauling Costs | 45 |
| SWEDEN | 45 |
| Hydrovåg AB | 48 |
| Tracobi Press | 48 |
| Exte Comp | 49 |
| Iggesunds Bruk AB | 51 |
| Independent Compaction Devices | 51 |
| A-Trans. | 53 |

Page

NORWAY 54

DENMARK 56

FINLAND 57

GERMANY 59

UNITED STATES 65

DISCUSSION 67

BIBLIOGRAPHY 68

## LIST OF FIGURES


| | | Page |
|---|---|---|
| Figure 1: | Tree crowns of some species in side and plan view to illustrate the variation between them. | 5 |
| Figure 2: | Relationship between tree butt diameter in mm and crown diameter in metres. | 6 |
| Figure 3: | Classification of crown length. | 7 |
| Figure 4: | Crown length, black spruce. | 8 |
| Figure 5: | Distribution of branches and branch stub area around the stem. | 10 |
| Figure 6: | Percentage distribution of branches according to angle with tree stem. | 11 |
| Figure 7: | Relative branch sizes, black spruce and jack pine. | 13 |
| Figure 8: | Diameter of thickest branch of black spruce, and branch length as a function of tree butt diameter (Horncastle 1974). | 13 |
| Figure 9: | Diameter of thickest branch of Scotch pine and Norway spruce, and branch length as a function of tree butt diameter. | 14 |
| Figure 10: | Average total tree lengths by butt diameter classes for spruce and balsam fir in various provinces of eastern Canada (Dunfield et al 1974). | 16 |
| Figure 11: | Total tree length by butt diameter classes for spruces, balsam fir and jack pine in Ontario. | 17 |
| Figure 12: | The range of total tree length by butt diameter classes for spruces and balsam fir, in Quebec. | 17 |
| Figure 13: | Average merchantable length and total length for spruce and balsam fir in northeastern New Brunswick. | 18 |
| Figure 14: | Total tree length by butt diameter classes for softwoods and trembling aspen in Saskatchewan (Dunfield et al 1974). | 18 |
| Figure 15: | Cumulative totals (%) of conifers by length classes (derived from Dunfield et al 1974). | 19 |
| Figure 16: | Weight of tree components, spruces, balsam fir and jack pine combined. | 24 |
| Figure 17: | Average green weights of full trees kg/m$^3$, spruces, balsam fir and jack pine. | 25 |
| Figure 18: | Maximum green weights of full trees, spruces, balsam fir and jack pine. | 26 |
| Figure 19: | Green weight of full trees, by tree volumes, spruces, balsam fir and jack pine. | 27 |
| Figure 20: | Location of centre of gravity of full trees as a function of full tree lengths. | 28 |
| Figure 21: | Data from three countries showing results of compaction studies on small trees, both full trees and tree sections. | 33 |
| Figure 22: | Module builder for cotton, corn stover, orchard prunings, illustrating hydraulic tamper to increase bulk density. | 35 |
| Figure 23: | Cumulative total full tree lengths (from Figure 15) plotted against trailer length. | 42 |

Page


| | | |
|---|---|---|
| Figure 24: | Hydrovågs compactor. (1) Truck is empty, telescopic side stakes are retracted and upper arms are folded inward. (2) During loading operation the stakes are extended upwards and upper arms are raised. (3) When truck is loaded the upper arms are folded inwards and side stakes are retracted. (4) Upper arms compress load and stakes are retracted until limit is reached. (5) If more material is loaded the compression cycle is repeated. | 47 |
| Figure 25: | Tracobi press mounted truck and trailer. | 49 |
| Figure 26: | Exte comp. | 50 |
| Figure 27: | Compression test equipment developed by Iggesunds Bruk AB. | 51 |
| Figure 28: | Independent compaction device (Evert). | 52 |
| Figure 29: | A-Trans. | 53 |
| Figure 30: | Truck trailer combination for full trees or topped trees up to 14 metres in length. Side stakes are 2-5 metres high and side walls are constructed from aluminum. (2) Truck trailer combination for transporting tree sections, 6 metres in length. | 55 |
| Figure 31: | Equipment designed in Denmark for compressing full trees (Wibstad 1976). | 56 |
| Figure 32: | Full-tree transport experiment by Ahlström OY, Varkaus, Finland with German Doll trailer. | 57 |
| Figure 33: | Load is compacted by loader pulling on cable. Cable is fastened on off-side of truck or trailer frame, passes over load, through a pulley attached to truck or trailer frame and is picked up by loader. | 58 |
| Figure 34: | Doll trailer for the transport of unlimbed trees. | 60 |
| Figure 35: | Doll trailers with telescopic bodies for transport of unlimbed full trees. Stakes at front contain butt sections, solid walls contain crowns. In one trailer the body is removable for transport of tree lengths or logs. | 61 |
| Figure 36: | (1) Full trees being unloaded at central conversion point. (2) Truck and semi-trailer load of full trees. | 62 |
| Figure 37: | (1) Load of full trees on forest road. (2) Doll semi-trailer showing side stakes at front, solid sides and extendable wall and floor section at rear. Note automatic steering of rear bogie. | 63 |
| Figure 38: | Trailer loads of full trees without side wall constraints. | 64 |
| Figure 39: | Full tree trailer used by Weyerhaeuser Company. | 66 |

## LIST OF TABLES


| | | Page |
|---|---|---|
| Table 1: | Summary statistics for sample trees. | 9 |
| Table 2: | Cumulative table (%) of conifers, by length classes (Derived from Dunfield et al 1974). | 20 |
| Table 3: | Trailer lengths to hold 95 percent of anticipated full tree load lengths. | 21 |
| Table 4: | Distribution of overall recovery rate, black spruce and balsam fir as a function of harvesting system and season. | 22 |
| Table 5: | Biomass recovery factors. | 23 |
| Table 6: | Variation in bulk density of hay as a result of treatment. | 29 |
| Table 7: | The solid volume percentage and bulk density for different moisture-content values. Average values from a number of haulage studies conducted by Skogsarbeten. | 30 |
| Table 8: | Factors affecting bulk density of loads, character of loads. | 32 |
| Table 9: | Provincial regulations governing size and weight of truck trailer combinations on public roads. | 38 |
| Table 10: | Cubic volume of trailers. | 39 |
| Table 11: | Average bulk densities required to meet maximum load limits. | 40 |
| Table 12: | Data on full tree trailer loads. | 43 |
| Table 13: | Estimated transport costs for full trees on public roads - t/km. | 44 |
| Table 14: | Volumes being handled on conversion sites in Sweden (millions of $m^3$ solid, over bark). | 45 |
| Table 15: | Load bulk densities achieved by Hydrovåg system. | 48 |
| Table 16: | Green bulk densities calculated on basis of tests of Evert compactor. | 53 |
| Table 17: | Utilization of load capacity for different truck-trailer combinations in Norway. | 54 |
| Table 18: | Biomass yield (%) with full tree processing, trees topped at an average diameter of 5.2 cm. | 59 |

# INTRODUCTION

There is increasing interest in eastern Canada in the utilization of a greater part of the forest, if not to increase feedstocks for merchantable products then as a source of energy to take the place of petrochemicals. In some regions, where conditions allow, full trees are transported in large loads on off-highway truck-trailer combinations over private roads.

The economics of full tree harvesting and transport are gradually being recognized in those situations where the bark, limbs and tree tops can be utilized. Because of the constraints of highway regulations as to width, length, height and weight there has been little effort to transport full trees over public roads. The concern is (1) to obtain an economic payload and (2) to be able to contain the full trees to public highway standards.

This report discusses the different characteristics of the load (full trees), analyses the situation vis-a-vis economic load capacity, estimates hauling costs under Canadian conditions and describes developments in Sweden, Norway, Finland, Denmark, Germany and United States.

## THE LOAD

The product to be transported consists of full trees of various species, predominantly conifer although sometimes along with deciduous trees commonly found in the Canadian boreal forest, poplars and white birch.

Full trees by their very nature tend to be a difficult product to transport. Over their length, trees may have heavy butt ends clean with no limbs and centre portions which are bulky and bushy with limbs of varying degrees of flexibility and with a central stem tapering to a fraction of its butt diameter. The tree crown is normally assymetrical and will not roll. Its branches may intertwine. The central stem may be uniformly straight, though tapering, but may be subject to sweep, bow or crook. These properties tend to make full trees a very nonuniform load for transport as they present uneven weight and bulk both longitudinally and laterally and their bushiness creates a low bulk density.

### General Description of Tree Species

A general description of trees of various species to be transported will help in understanding the problems involved with each. Units in the dendrological and mensurational literature dealing with the physical characteristics of trees, where necessary, have been converted from non-metric to SI.

The following is taken from "Recognition of Tree Species on Aerial Photographs" (Sayn-Wittgenstein 1978).

**Eastern White Pine** (Pinus strobus L.)

Eastern white pine has a straight and undivided trunk and a large crown of horizontal or ascending branches. The higher branches sometimes sweep upwards in a pronounced curve resulting in a bowl-like structure. The large branches are very prominent giving the crown an irregular star-shaped outline when seen from above. In closed stands the trees are often clear of branches over the lower two-thirds of their length.

**Red Pine** (Pinus resinosa Ait.)

Red pine has a straight and undivided trunk which is usually clear of branches for at least one half of its height. Its crown is oval, not very dense and consists of whorled spreading branches. Its crown is rounded in outline and individual branches rarely protrude. Branches spread horizontally or somewhat drooping with foliage tufted towards the ends.

**Jack Pine** (Pinus banksiana Lamb.)

When grown in closed stands jack pine forms a small narrow open crown of many short twisted branches which are restricted to the upper portion of the tree, often less than one-fifth of its length. The top is usually pointed. In the open, the crown shape is very variable with a tendency toward a more rounded but irregular form.

**Lodgepole pine** (Pinus contorta Dougl.)

Lodgepole pine is very similar to jack pine in form. Its range overlaps that of jack pine, mainly in Alberta and there are hybrids between the two species which cannot be distinguished by branching habit or crown shape. There are two distinct forms of lodgepole pine, a short scrubby strain growing along a narrow range of the British Columbia coast and the inland form which is tall slender and straight. This inland lodgepole pine has a short narrow crown. Branching is regular and the foliage is largely at the branch ends.

**Tamarack** (Larix laricina (Du Roi) K. Koch)

Tamarack has a straight trunk and a narrow open symmetrical conical crown. Its crown is normally wider than that of black spruce. Branches are slightly ascending in aspect.

**White spruce** (Picea glauca (Moench) Voss)

White spruce has a single straight central trunk. Branching is dense and branches are long. The crown is dense and symmetrical and with open grown trees may extend to the ground. It is quite tolerant of shade and tends to retain its branches although in dense stands it may self prune up to half its height. Because its branches are coarser, the crown of the white spruce is more irregular than that of balsam fir. White spruce can grow to a larger size than black spruce and a characteristic of the trees are upswept branches.

**Black spruce** (Picea mariana (Mill) B.S.P.)

Black spruce is usually a small tree growing up to about 15 metres in height. Usually it has a slender straight trunk and a very narrow almost cylindrical crown of drooping branches with up-turned ends. A dense clump of twigs frequently forms on the top of the crown.

**Balsam fir** (Abies balsamea (L.) Mill.)

Balsam fir has a very narrow cone-shaped crown of slender branches which on open-grown trees extends nearly to the ground. It has a characteristically dense rigid spire-shaped tip. The slightly tapering trunk below the crown is usually covered with dead branches which may persist for years.

**Trembling aspen** (Populus tremuloides Michx.)

Trembling aspen has a single gradually tapering trunk which reaches almost to the top of the crown. The crown which consists of relatively few branches is small, round topped and open. For most of its length trembling aspen is branch free and smooth.

**Balsam poplar** (Populus balsamifera L.)

Balsam poplar has a straight usually undivided trunk and a narrow open conical crown which is formed by a few stout ascending branches. The branches tend to be relatively straight and longer than those of aspen of similar size. Except for very old trees the tops are usually pointed.

**White birch** (Betula papyrifera Marsh.)

Young small trees have small conical crown while the crowns of old trees are more rounded and irregular. The trunk is commonly forked and divides into a number of large ascending branches. The crown is usually composed of many ascending branches which end up in bunches of fine branchlets.

## Key to Eastern Conifers

A key to eastern conifers and broad leaved trees based upon their crown shape and branching characteristics is given by Sayn-Wittgenstein in the same report. It is of interest because the characteristics used are those which in large degree govern the bulk density and dimensions of a trailer load of full trees.

1. Crowns small, or if large then definitely cone-shaped.

    1. Crown broadly conical, usually rounded tip, branches not prominent ..... cedar
    2. Crowns have a pointed top, or coarse branching, or both.

        1. Crowns narrow, often cylindrical, trees frequently grow in swamps, foliage and cones may form dense clump at top..... swamp-type black spruce
        2. Crown conical, deciduous ..... tamarack
        3. Crowns narrowly conical, very symmetrical, top pointed branches less prominent than in white spruce ..... balsam fir
        4. Crowns conical, branches (especially of mature trees) more prominent than in balsam fir ..... white spruce and black spruce (except swamp type).
        5. Crowns irregular, with pointed top, has thinner foliage and smoother texture than spruce and balsam fir ..... jack pine

2. Crowns large, spreading or rounded, not narrowly conical, top often not well defined.

    1. Crown very dense, irregular or broadly conical.

        1. Individual branches very prominent, crown usually irregular ..... white pine
        2. Individual branches rarely very prominent, crown usually conical, becoming irregular with age ..... eastern hemlock
    2. Crowns open, oval (circular in plan view) ..... red pine

A visual description of tree crowns is given in Figure 1 (Zsilinszky 1966).

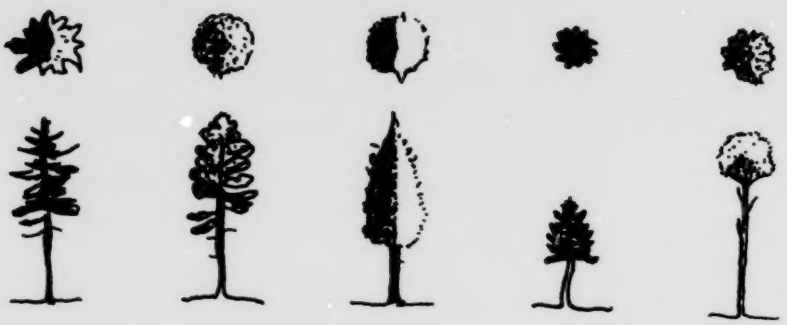


Figure 1. Tree crowns of some species in side and plan view to illustrate the variation between them.

## Tree Crown Diameters

The relationships between tree stem diameters and tree crown diameters are to be found primarily in texts and articles dealing with the interpretation of aerial photographs and the development of tree volume tables for aerial photographs. It has been demonstrated from a number of independent studies that there is a direct correlation between stem diameter expressed as diameter breast height (dbh) and crown diameter. In most instances the relationship approaches a straight line in form (Figure 2). A rule of thumb given by Spurr is that a tree crown diameter will be approximately 16 times the stem diameter (Spurr 1948). For example a tree 7 inches dbh (180 mm) would have a crown 7 x 16 = 112 inches = 9.3 ft (2.9 metres) in diameter.

An analysis indicated that crown diameters vary from 16.75 to 13.50 times the stem diameter at breast height, decreasing with an increase in stem diameter. Based upon a large sample a crown diameter of 15 times the stem diameter at breast height, or 12 times the butt (stump) diameter should be sufficiently accurate for design purposes.

A study in New Brunswick (Wile 1964) established for red spruce and balsam fir that the crown diameter in feet was approximately equal to the stem diameter at breast height in inches, plus a constant, dependent upon the species. For red spruce it was D + 2 and for balsam fir was D + 0.5. In this instance a spruce tree 7 inches dbh (180 mm) would have a crown width of 7 + 2 = 9 ft (2.7 metres) in diameter and balsam fir a crown width of 7 + 0.5 = 7.5 ft (2.3 metres). These figures are within 15 to 50 cm of the plotted line in figure 2.

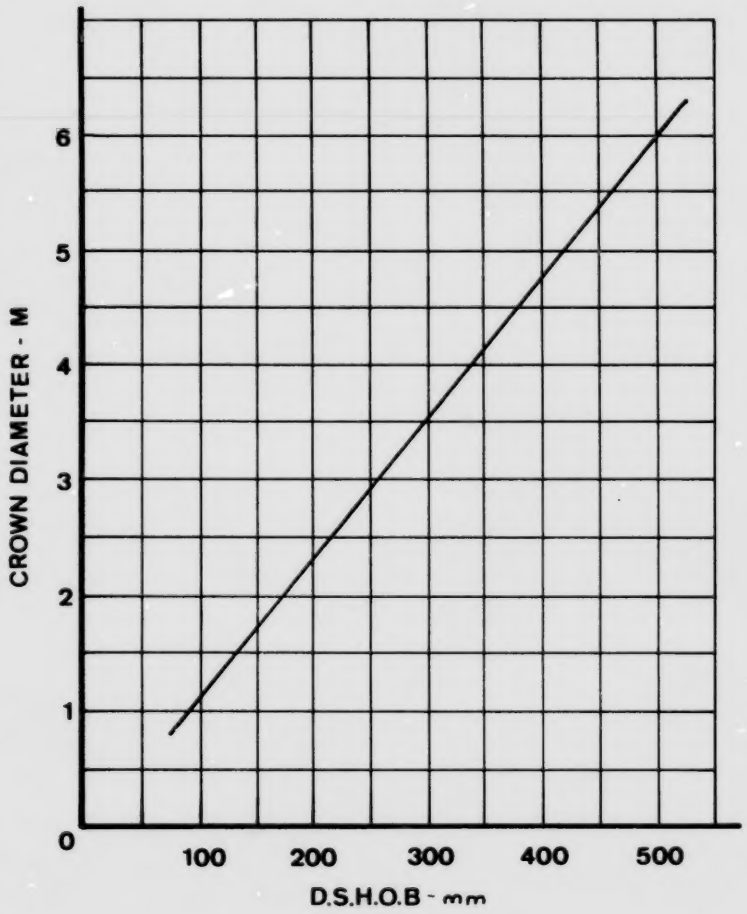



Figure 2. Relationship between tree butt diameter in mm and crown diameter in metres.

## Tree Crown Length

A relationship has been established between tree crown length and stem diameter (Wile 1964) as well as to stand density. When trees are felled and limbed by chainsaw, the length of tree crown or branchiness is a very important factor because of its effect upon man-day productivity. A branchiness classification has been developed to permit an estimation for limbing difficulty when establishing piece rates ( Fogh 1956).

Class I - The best pine and hardwood stands. Crown ratio is less than 20%. Branches are thin and tender. Dead branches below the living crown are few.

Class II - Pine and hardwood stands grown moderately dense and the best spruce stands. Crown ratio is 20-30%. Branches are rather thin and tender.

Class III - Pine and hardwood stands of at least medium density and dense spruce stands. Crown ratio is 30-50%. Dead branches below the living crown are neither thick nor hard.

Class IV - Pine and hardwood stands grown with wide spacing and spruce stands of moderate density. Crown ratio is 50-75%. Branches are numerous and thick. Dead branches below the crown are thick and hard.

Class V - Open grown branchy spruce stands. Crown ratio is more than 75%. Branches are numerous, thick and tough.

Fogh's classification can be used to appraise stands to establish the branchiness of the trees to be transported (Figure 3). A similar classification was developed in Finland when developing forest wage tables for the production of pulpwood (Metsäalan 1968).

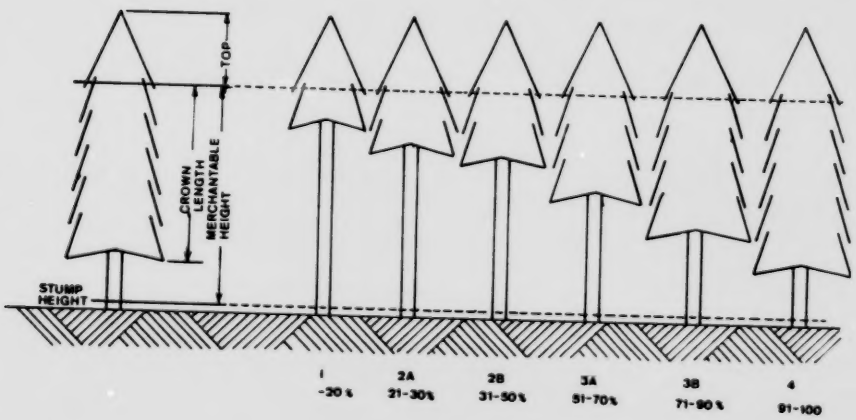



Figure 3. Classification of Crown length.

Crown length is dependent in large degree on a species tolerance. Dense stands of jack pine, which is a relatively intolerant species, will self prune lower branches until a situation illustrated as Class 1 in Figure 3 exists. On the other hand for comparable stands of spruce and balsam fir the trees can approach conditions exemplified by Classes 3a or 3b.

Figure 4 is from a study conducted by Q.N.S. Paper Company Ltd. at Baie Comeau, P.Q. The sample was from a balsam - black spruce stand on a Hylocomium-cornus site, quality II (Lafond 1960)*. The stands varied between 19 and 45 $m^3$/ha. This figure shows clearly the typical crown structure for trees in such stands which are common throughout eastern Canada. For an average size tree of 240 mm butt diameter, 6.5 metres of the bole is clean or supports some dead limbs, the green crown is 11.5 metres in length and the total tree height is 18 metres.

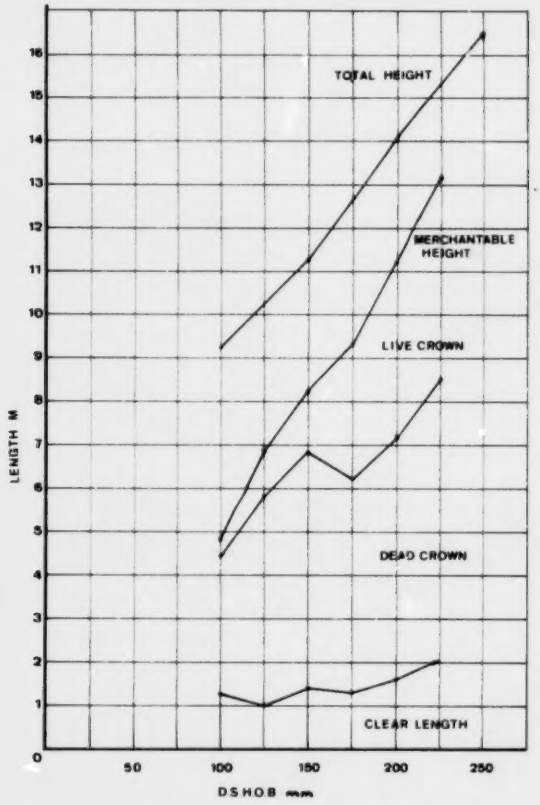



Figure 4. Crown length, black spruce.

* Guilbert, Marcel, January 9, 1964. Pers. commun. to D.C. Horncastle.

## Branching Habit

Branching habit depends upon branch arrangement, branch direction and branch form. Arrangement is the initial pattern of branches along the stem, direction refers to the angle the branch makes with the main trunk and form indicates whether a branch is straight, curved or forked.

### Arrangement

The initial pattern or arrangement of branches along the stem is peculiar to the species or genera. In pines for example the annual increment in height growth is marked by groups or whorls of branches. In the case of spruce the whorls are much less evident and limbs appear to spiral around the trunk of the tree.

"It is well established that the live branches of a tree are not uniformly distributed along the stem. This is particularly noticeable in many coniferous species where the branches are concentrated at whorls at the nodes of the stem, the internodes being branchless or having only a few small branches. The pattern of the distribution of the branches along the stem thus exhibits a periodicity which makes a picture of the "average" pattern difficult to obtain realistically. The situation is further complicated by the fact that the stems are often free of branches for varying heights above ground level" (Drolet et al 1971). This same study established that there is a marked decrease in the average number of live branches per lineal foot of stem with an increase in distance below merchantable height. Summary statistics for the trees studied are given in Table 1.

Table 1. Summary statistics for sample trees (Drolet et al 1971)

| Variable | Jack pine (Mean with one standard deviation) | Black spruce (Mean with one standard deviation) | Balsam fir (Mean with one standard deviation) |
|---|---|---|---|
| DBH - inches | 7.4 ± 1.7 | 6.8 ± 1.6 | 7.5 ± 1.9 |
| Height - feet | 56.8 ± 10.0 | 51.7 ± 9.1 | 53.2 ± 8.1 |
| Crown width - feet | 10.3 ± 3.4 | 8.0 ± 2.7 | 13.2 ± 4.4 |
| Age - years | 71.2 ± 26.1 | 119.2 ± 25.0 | 105.1 ± 17.3 |
| Crown length - feet | 20.3 ± 6.3 | 24.7 ± 9.8 | 26.3 ± 9.6 |
| Merchantable volume - $ft^3$ | 9.0 ± 5.3 | 6.6 ± 5.1 | 7.6 ± 4.8 |
| BSA - $inches^2$ | 13.4 ± 16.2 | 12.4 ± 17.4 | 19.8 ± 22.5 |
| No. of branches | 11.0 ± 10.1 | 21.4 ± 23.8 | 25.1 ± 21.3 |
| Merchantable height - feet | 44.5 ± 11.4 | 38.1 ± 10.2 | 39.5 ± 8.4 |
| No. of trees sampled | 229 | 262 | 50 |

The arrangement of branches around a tree has been shown to be highly irregular. If trees are divided longitudinally into quadrants it was found that 50 percent of the limbs in jack pine occurred in one quadrant, the corresponding figure for black spruce and balsam fir was 40 percent. At the same time the limbs in the quadrant opposite would contain only one half to one third as many branches. This characteristic is well illustrated in Figure 5 which shows the distribution of branches around the stem.

In making up a load of full trees this irregularity in branching should permit trees to lie more compactly together, than if branches were uniformly distributed around the stem.

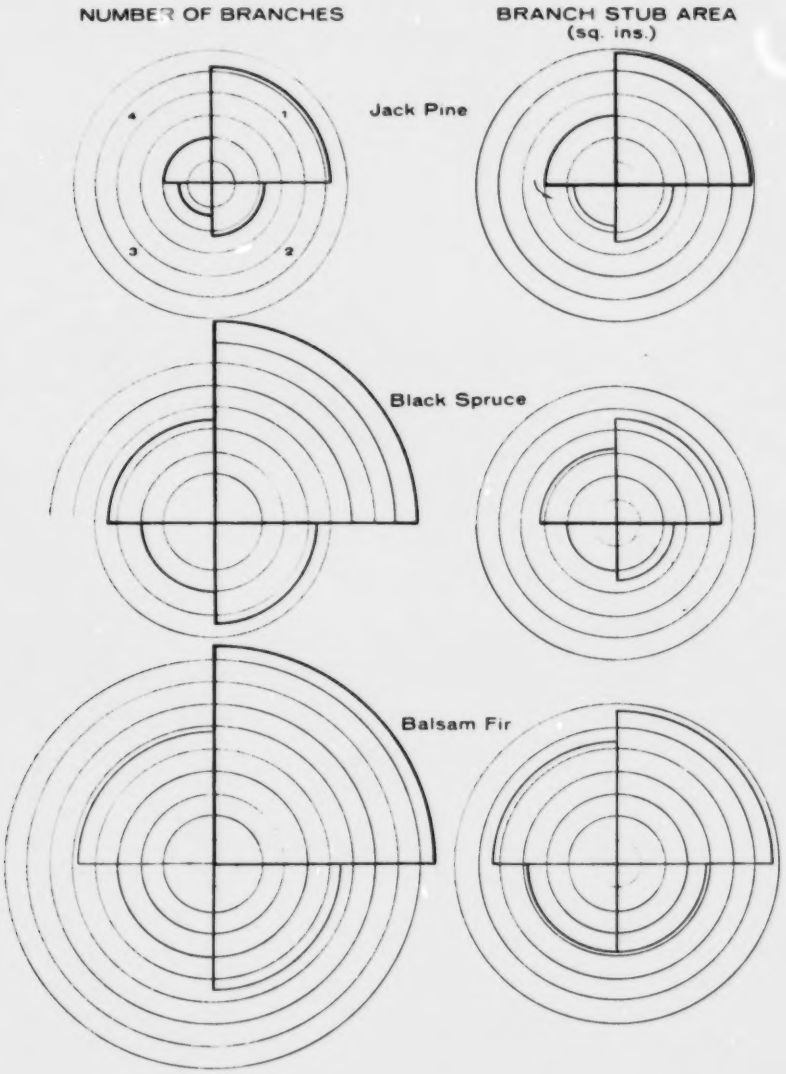



Figure 5. Distribution of branches around stem by number per lineal foot as well as by branch stub area. The distance between successive circles represents one branch or one square inch of branch stub area (Drolet et al 1971).

**Direction**

This is the angle a branch makes with the tree trunk. In the study by Drolet et al 1971 it was found that jack pine had the smallest branch angle, 70°, balsam fir had an average branch angle of 90° while black spruce had the largest branch angle 106°.

Branch angle is important in any study of harvesting full trees as those trees with both large and small branch angles offer less resistance to compaction and dense loads as the limbs tend to be flexible and lie along the tree trunk, either upwards or downwards. Trees with a branching direction of 90° will offer the greatest resistance to compaction. Lavoie (1980) found that branch stubs offered greater resistance to compaction when making up a load of full trees than did full branches.

Figure 6 from a Russian source shows that birch and poplar tend to have small branch angles. The branch angles given for spruce are confirmed by Drolet's study. For birch and poplar it is shown that no limbs reach or exceed the 90° angle and that the majority of limbs are at 30° (birch) and at 50° (poplar) from the axis of the tree stem.

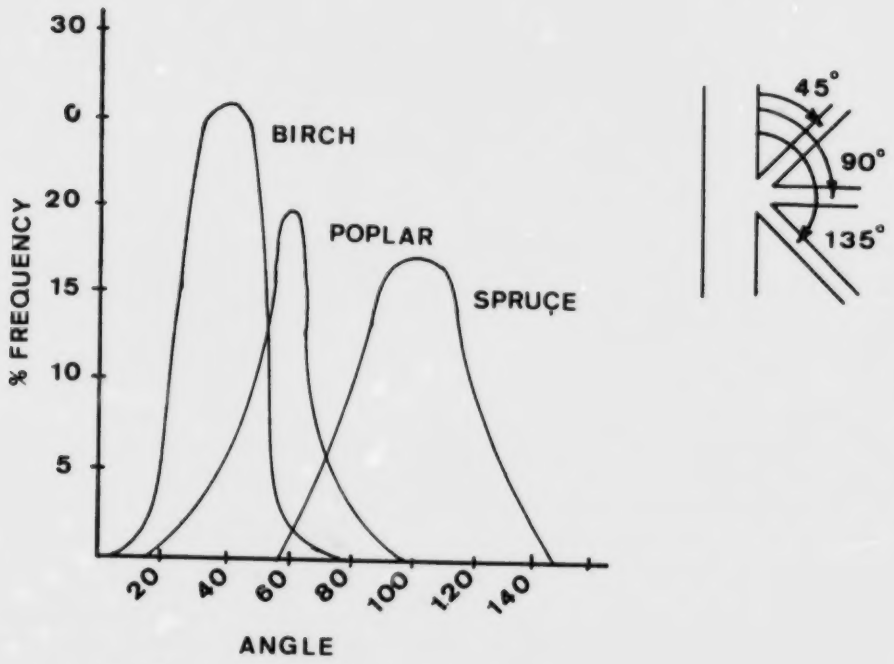



Figure 6. Percentage distribution of branches according to angle with tree stem (Vorobiev 1963).

**Form**

Branch form indicates whether a branch is straight, curved or forked.

"The conical shaped crown of conifers may vary from the broad-based crown of most pines to the nearly cylindrical shape of spruce, especially in far northern forests. Branches may incline up or down or frequently the branches go upward at the top of the tree, horizontal in the middle and downwards at the bottom.

"The form that branches take is a function of both inherited characteristics as well as environmental factors.

"The initial direction of elongation of a branch is determined by the angle of the lateral bud on the parent stem, called the angle of insertion. If the bud is pointing at an angle to the stem the branch will originally grow out at that angle because, being firmly attached at the base they cannot swivel or bend rapidly. This angle of insertion is retained as the angle at the base of branches.

"Once freed from the restraints near the base of the branch, the elongating portion of the branch orients according to its preferred angle to the gravitational field. This preferred angle is usually upwards for shoots. Even on horizontal branches, the tips of the branches where elongation has recently occurred usually point up. This angle of the tip part of the branch is called the geotropic angle. As pointed out above, it takes a certain length of shoot to accomplish the curvature that expresses the geotropic angle. Short shoots may not have any geotropic angle simply because they are so short. For instance short-shoots in larch (tamarack) that seldom ever reach half an inch in length are essentially uncurved, growing out at the angle of insertion. Short-shoots in red maple, that may grow steadily for 30 years becoming a foot or more long, eventually show a geotropic response so that the tips grow upwards even when the branch started out growing down.

"The angle of insertion is at the base of the branch and the geotropic angle is at the elongating tip of the branch, but as the branch grows longer, the middle portion usually develops a third distinct angle. This angle, the angle of inclination, is usually what is meant when talking about the characteristic branch angle of a species. The reason for the development of an angle of inclination is that the branch starts off at an angle to the vertical and as it grows longer it forms laterals and bears an increasingly heavy weight of leaves and branches. This load bends the branch down despite the reaction wood formation in the branch which tends to straighten it back up. The angle of insertion is maintained because the branch is thickest right next to the main stem. The geotropic angle is maintained because the elongating tip continues to grow upwards, regardless of the angle of inclination. Gradually the older portion of the branch, originally at the geotropic angle is bent down by the weight of the tip to the angle of inclination." (Wilson 1970).

**Size** (Diameter and length)

Spruce limbs tend to be of small diameter compared to those of pine as illustrated in figure 7 and 9.

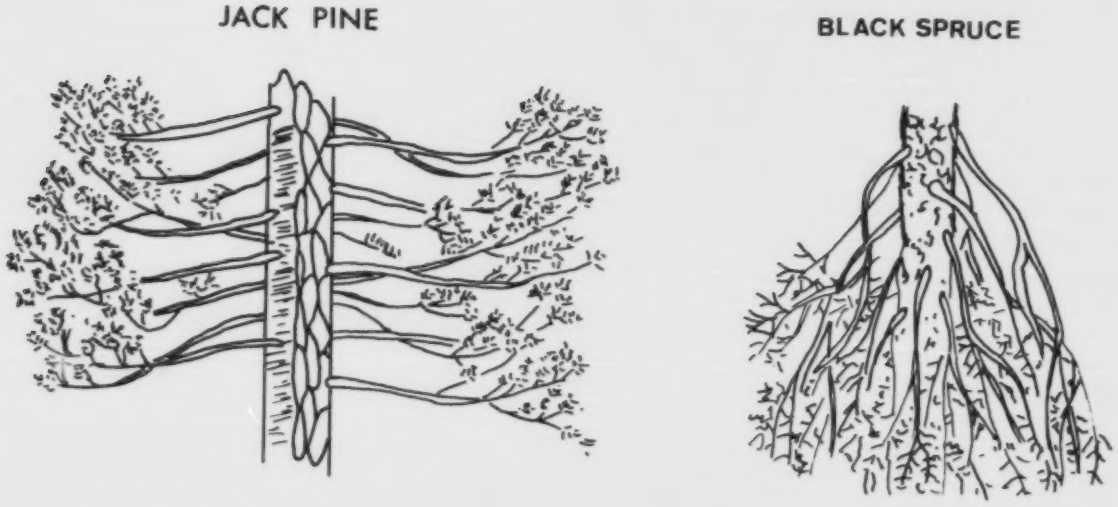



Figure 7. Relative branch sizes, black spruce and jack pine (Rudolf 1956).

Studies of branch diameter and length of black spruce at Baie Comeau (Horncastle 1964)* produced results that are supported by Finnish studies (Hakkila 1971), as shown in Figure 8 and 9.

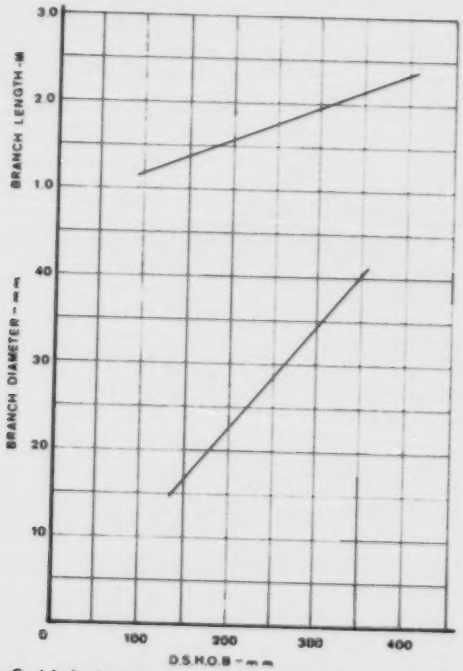



Figure 8. Diameter of thickest branch, and its length as a function of butt diameter (Horncastle 1964)*.

---

* Horncastle, D.C. January 15, 1964. Pers. commun. to C.R. Silversides

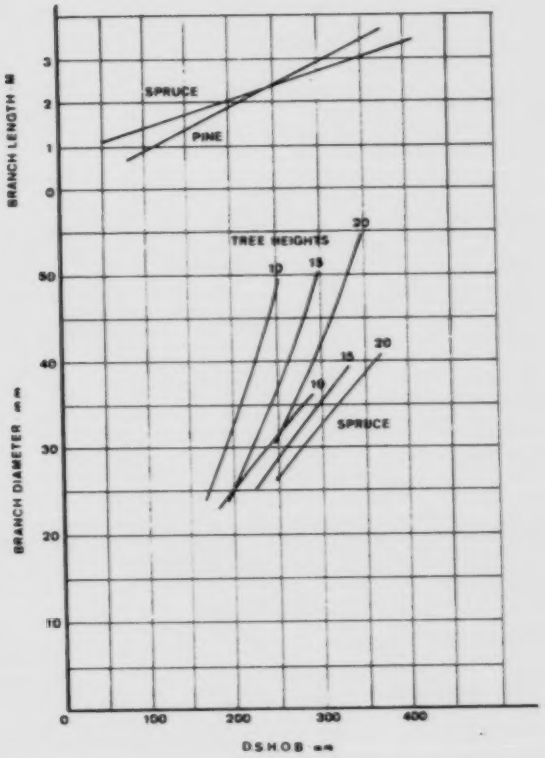



Figure 9. Diameter of thickest branch and its length as a function of the butt diameter (Hakkila 1971).

Branch thickness and length play an important role in the transport of full trees because they control in large degree the possibility of compacting loads and increasing their bulk density. Branches tend to decrease by 20 percent in diameter in the first 50 mm from the tree bole (Ager 1971). Lavoie (1980) in his study states "It appears that branches do not constitute an important factor in the volume per load. Once branches have been broken it is the remaining branch stub on the trunk of the tree that has the most influence on the densities of the piles".

In attempting to compact full trees, with limbs or with branch stubs one can assume that the strength of wood increases with its density. The density and strength of branch wood is greater than that of stem wood (Brown et al 1952). Branches because of their growth habit contain an abundance of reaction wood and the cells, especially in spruce, are therefore thick walled. The average density of branch wood in Norway spruce in south Finland was found to be 151 percent of the density of stemwood and for Scotch pine it was 105 percent (Hakkila 1971).

Compression wood is the reaction wood of conifers and develops on the underside of branches. It has a considerably higher density than normal wood (Kollman and Cote 1968). The reaction wood of deciduous trees is tension wood and it is formed on the upper side of branches.

From a practical point of view the effect of branch stubs on load density is described by Chinn (1982). "The FERIC study showed that the loss of branches and tops did not have any effect on the number of trees which could be put on the load. The branches do not break off cleanly at the trunk but leave about 10 cm stubs which prevent the trees from being packed any closer together. This space is enough to accommodate the flexible branches of green and unfrozen trees. Thus the merchantable tree volume of a load is the same whether the branches are on the trunk or whether they have been broken off during felling and movement to roadside".

## Tree Lengths

The lengths of full trees will vary widely. This is particularly true for trees which have grown in an unmanaged forest with a great variation in stand density, tree size and age.

Tree length is one of the most important tree characteristics to be considered in the truck transport of full trees because of its impact upon load length and load density.

Most available data on tree length deals with averages while trailers, loading equipment etc., must be designed on the basis of maximums. In Table 1 for example the summary statistics for a large sample of trees (jack pine, black spruce and balsam fir) show that for a given average diameter, the tree lengths vary by ± 2.5-3 metres. One can then expect for 190 mm dbh (7.5 inch) jack pine, trees to measure anywhere from 14.3 metres to 20.4 metres in length, a range of approximately 6 metres.

A study carried out by the Forest Management Institute of Canadian Forestry Service (Dunfield et al 1974) was based upon a sample of some 66 million trees. Of the spruce and balsam fir sampled, the greatest number of tree lengths over 18 metres occurred in New Brunswick and the shortest were recorded in Newfoundland and Labrador. Spruce and balsam fir tree lengths measured in Ontario were longer than trees recorded in Québec.

Figures 10 to 15 inclusive provide information on full tree lengths across eastern Canada which should prove helpful in establishing load lengths to be expected in different regions. In making up a load of full trees the proportions of various tree lengths in the load may be of interest. There were no available data for the cumulative percentage of full tree lengths although there were for merchantable tree lengths. It has been shown that the ratio of merchantable tree length to total tree length increases as tree diameter increases due to the constant or decreasing length of the unmerchantable top. For the range of tree sizes encountered in eastern Canada the ratio has been assumed to be 0.75 for butt diameters up to 300 mm and 0.80 for diameters greater.

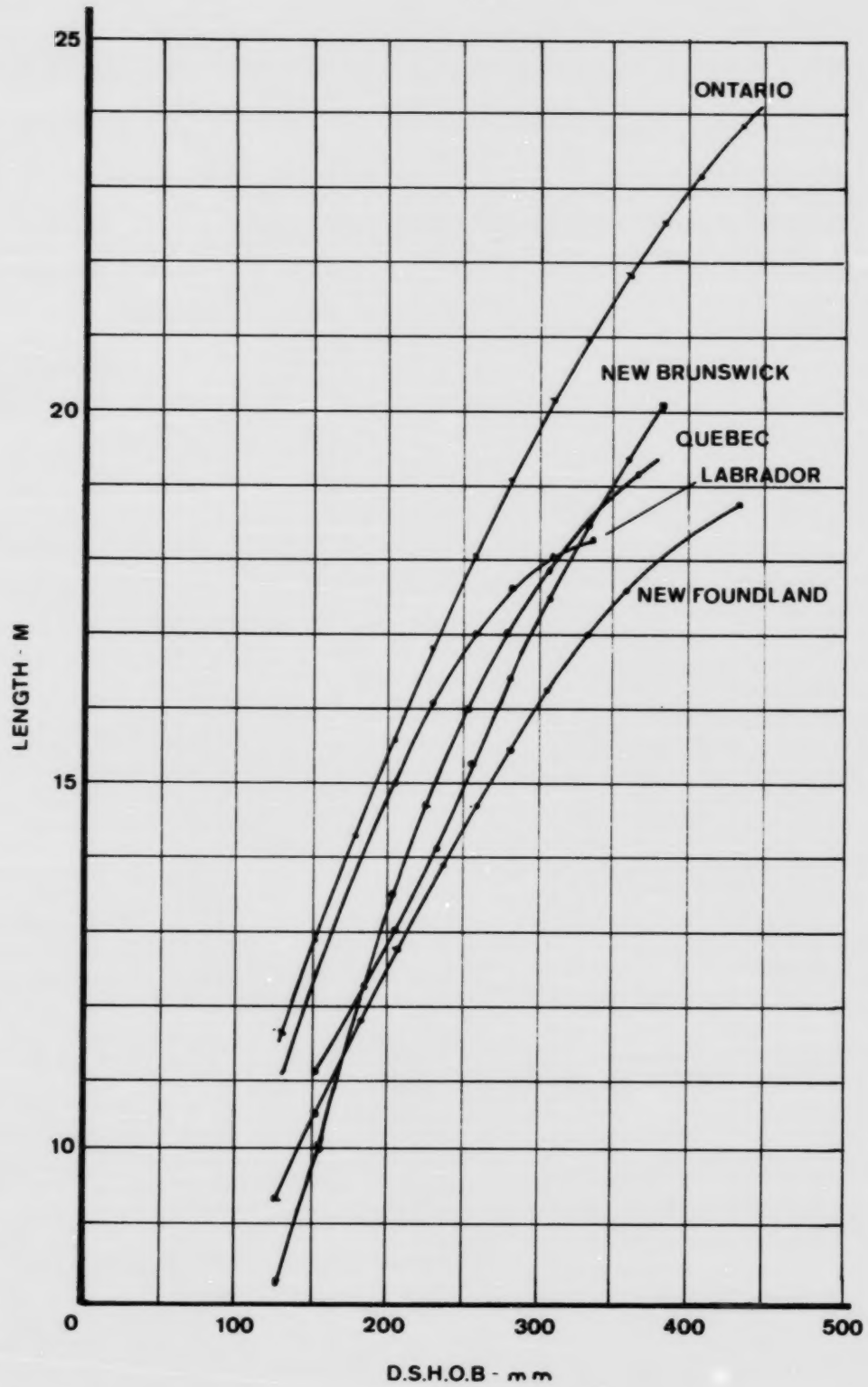



Figure 10. Average total tree lengths by butt (stump) diameter classes for spruce and balsam fir in eastern Canada. (Dunfield et al 1974).

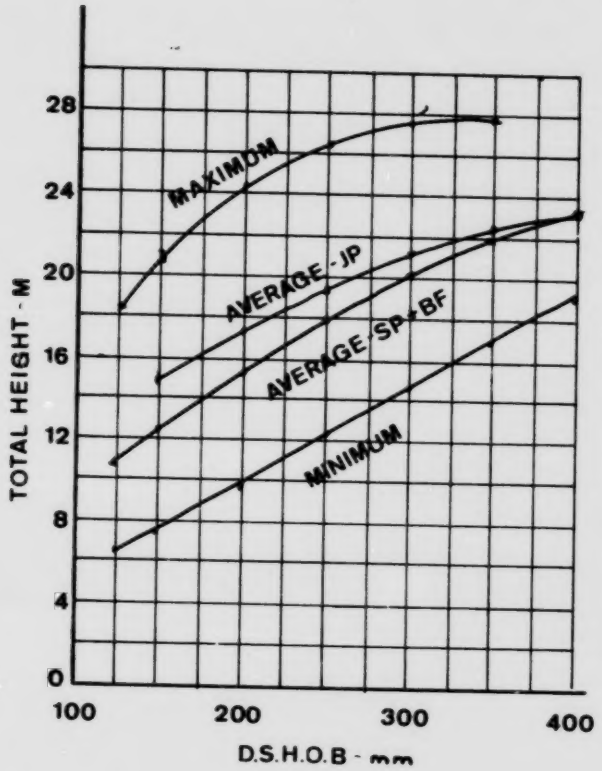



Figure 11. Total tree length by butt diameter classes for spruce, balsam fir and jack pine in Ontario. (Dunfield et al 1974).

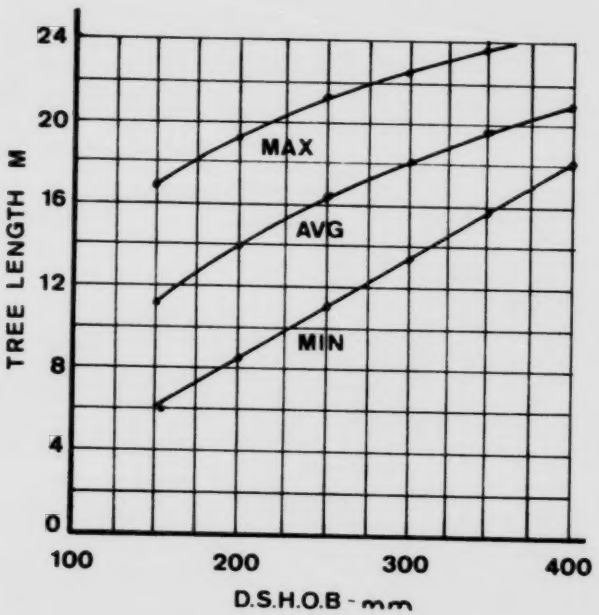



Figure 12. The range of total tree length, by butt diameter classes for spruce and balsam fir, in Québec. (Dunfield et al 1974).

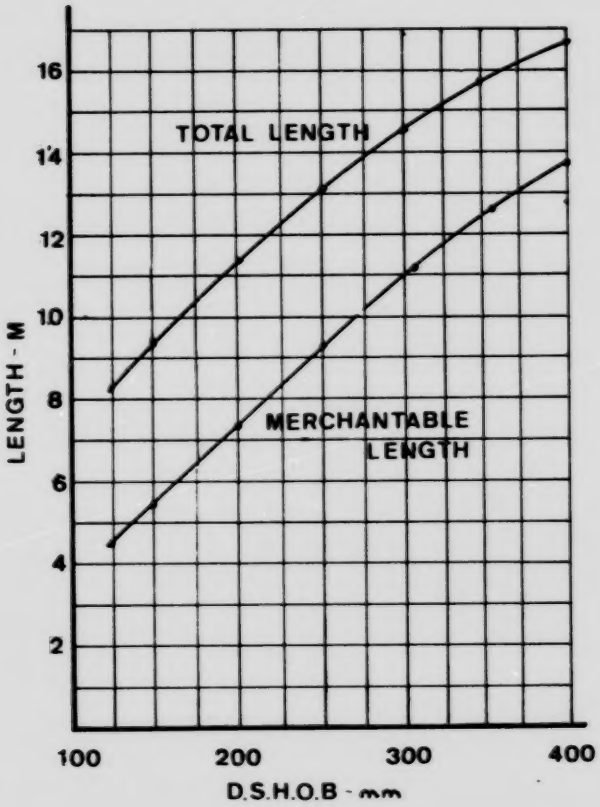



Figure 13. Average merchantable length and total length for spruce and balsam fir in northeastern New Brunswick. (Dunfield et al 1974).

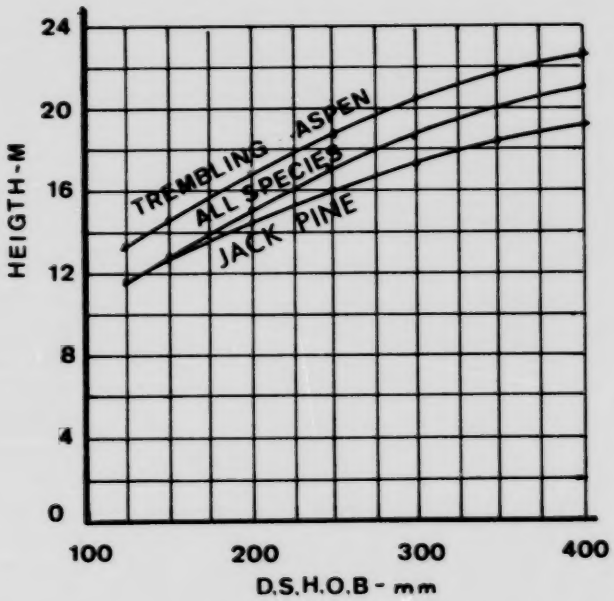



Figure 14. Total tree length by butt diameter classes for softwoods and trembling aspen in Saskatchewan. (Dunfield et al 1974).

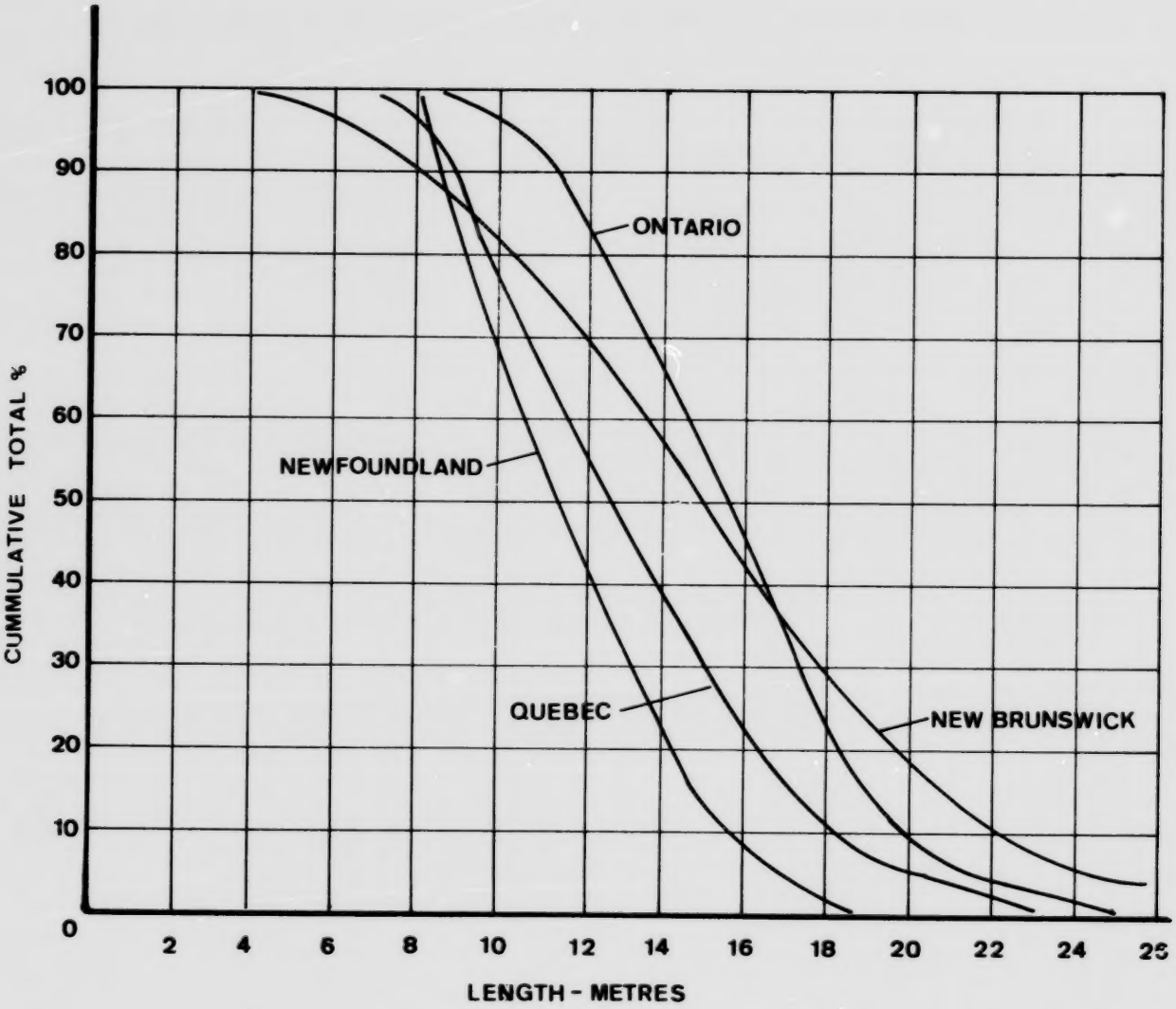



Figure 15. Cummulative total (%) of conifers by length classes. (derived from Dunfield et al 1974).

From Figure 15 as an example it is possible to say that in Newfoundland all the trees to be hauled will be 19 metres or less in length, that 50 percent of them will be more than 11 metres, 75 percent will be more than 9.5 metres, and 100 percent will be more than 8 metres. If for example load length is restricted to trees 15 metres in length then 12 percent of trees encountered would be longer than this.

Table 2. Cumulative totals (%) of conifers by length classes (derived from Dunfield et al 1974).

| Length - metres | Province | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Newfoundland | New Brunswick | Quebec | Ontario |
| 28 | | 0 | | |
| 27 | | 1 | | |
| 26 | | 2 | | 0 |
| 25 | | 3 | 0 | 0.5 |
| 24 | | 5 * | 0.25 | 2 |
| 23 | | 7 | 0.5 | 3 |
| 22 | | 9 | 1 | 4 * |
| 21 | | 14 | 1 | 6 |
| 20 | | 19 | 3.5 | 8 |
| 19 | 0 | 24 | 5 * | 14 |
| 18 | 2 | 30 | 9 | 22 |
| 17 | 4 * | 36 | 14 | 32 |
| 16 | 7.5 | 42 | 22 | 42 |
| 15 | 12.5 | 49 | 30 | 52 |
| 14 | 23 | 55 | 38 | 64 |
| 13 | 35 | 62 | 48 | 77 |
| 12 | 47 | 70 | 58 | 85 |
| 11 | 59 | 77.5 | 67 | 92.5 |
| 10 | 71 | 82 | 75 | 96 |
| 9 | 85 | 88 | 87 | 98.5 |
| 8 | 100 | 91 | 96 | 100 |
| 7 | | 94.5 | 99 | |
| 6 | | 96 | 100 | |
| 5 | | 98 | | |
| 4 | | 99 | | |
| 3 | | 100 | | |

* 95% limit

If a trailer manufacturer wishes to design a trailer to carry 95 percent of the trees to be encountered, then the trailer lengths will vary by province or region.

Table 3. Trailer lengths to hold 95 percent of anticipated full tree load length.

| Province | Trailer length in metres |
|---|---|
| Newfoundland | 16 |
| New Brunswick | 23 |
| Quebec | 18 |
| Ontario | 21 |

## Tree Weights

Full tree weights at roadside vary widely depending upon the season (summer or winter) and whether the full trees were skidded (dragged) or forwarded (carried).

The variation in weight depends primarily on the moisture content of the bole and the amount of limbs remaining after the in-woods handling and transport. In winter the loss of limbs when frozen and brittle is very high so that the weight of full trees at that period is much less than in summer. Lavoie (1980) in his study for FERIC claimed a branchiness of 62 percent in summer and 10 percent in winter. This was based upon a winter sample of 3500 trees and a summer sample of 2000 trees. Branchiness expressed as a percentage was based upon visual estimates using classes of 25 percent.

Routhier (1982) studied the effects of both season and system of harvesting upon the recovery of total biomass and the results are summarized in Table 4.

Table 4. Distribution of overall recovery rate black spruce and balsam fir as a function of harvesting system and season (Routhier 1982).

| | |
|---|---|
| Black spruce | Overall Recovery Rate[1] |
| Mechanized felling, grapple skidding | |
| - unfrozen trees | .69 |
| - frozen trees | .64 |
| Felling - forwarding | |
| - unfrozen trees | .90 |
| - frozen trees | .72 |
| Balsam fir | |
| Mechanized felling, grapple skidding | |
| - unfrozen trees | .75 |
| Manual felling, cable skidding | |
| - frozen trees[2] | .40 |

[1] Ratio of mean weight of recovered limbs and tops to total weight of same in the forest stand.

[2] This stand had been severely damaged by budworm. Recovery lower than in a healthy stand.

A field study of the effect of logging system and season on branch loss in jack pine was undertaken for FERIC (Zundel 1984). Some of the results are presented in Table 5.

Table 5. Biomass recovery factors (Zundel 1984).

| Cut and Skid Full Trees | Summer | Winter |
|---|---|---|
| Weight of tree crowns roadside as percentage of weight of crowns of standing trees | 76.5 | 67.7 |
| Ratio of branch weight at roadside vs at stump | .45 | .47 |
| Ratio of branches remaining vs total | .58 | .44 |
| **Feller-forwarder operation** | | |
| Weight of tree crowns roadside as percentage of weight of crowns of standing trees | 60.2 | 43.2 |

In the table above, the difference between summer and winter operation for the feller forwarder operation was similar in percentage to the results found by Routhier (1981) for black spruce but the jack pine branch recovery was much lower in absolute terms. Zundel points out that jack pine has limbs of greater diameter and length than black spruce. He suggests that because of the greater diameter of jack pine branches and thus the greater proportion of branch mass in wood material it would allow greater recovery of limbs in the low compression stresses experienced in skidding when compared with forwarding in a Koehring feller-forwarder bunk.

The weight of full trees does not increase in direct proportion to tree size. The larger trees have a proportionate decrease in limb and twig weight as well as in unmerchantable crown. This is illustrated in Figure 17.

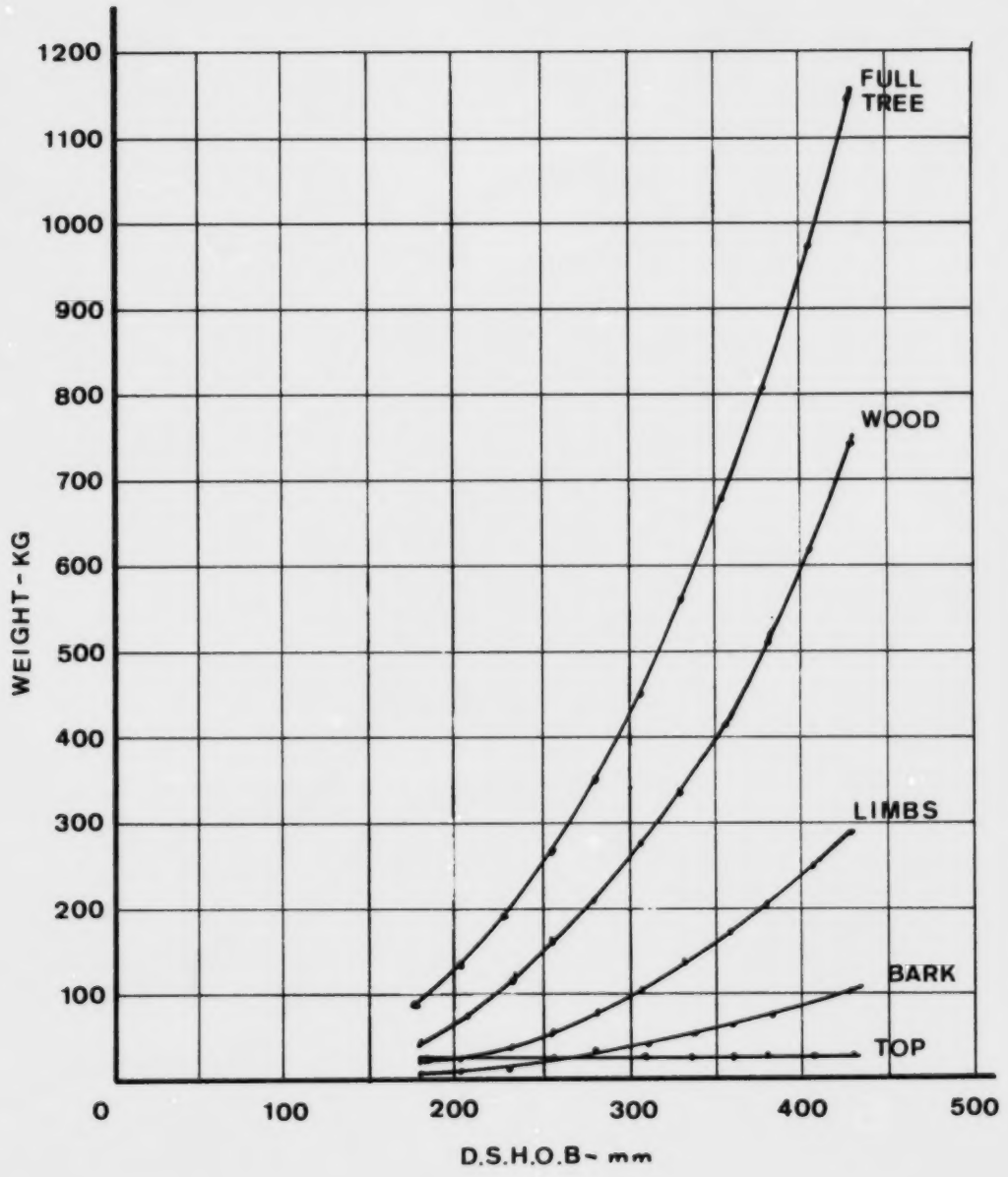



Figure 16. Weight of tree components, spruces, balsam fir and jack pine combined (Keen 1963).

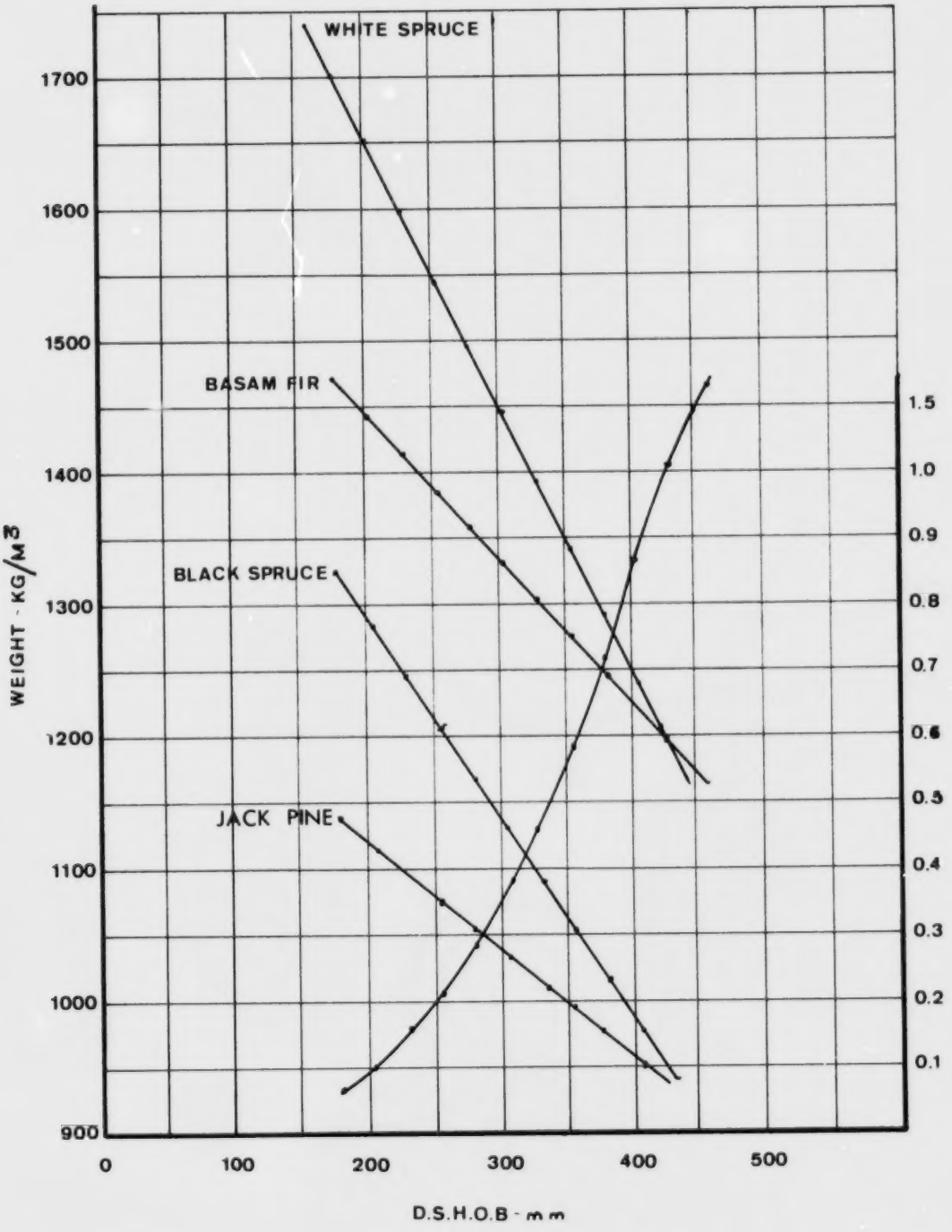



Figure 17. Average tree weights of full trees kg/m³, spruces, balsam fir and jack pine (Keen 1963).

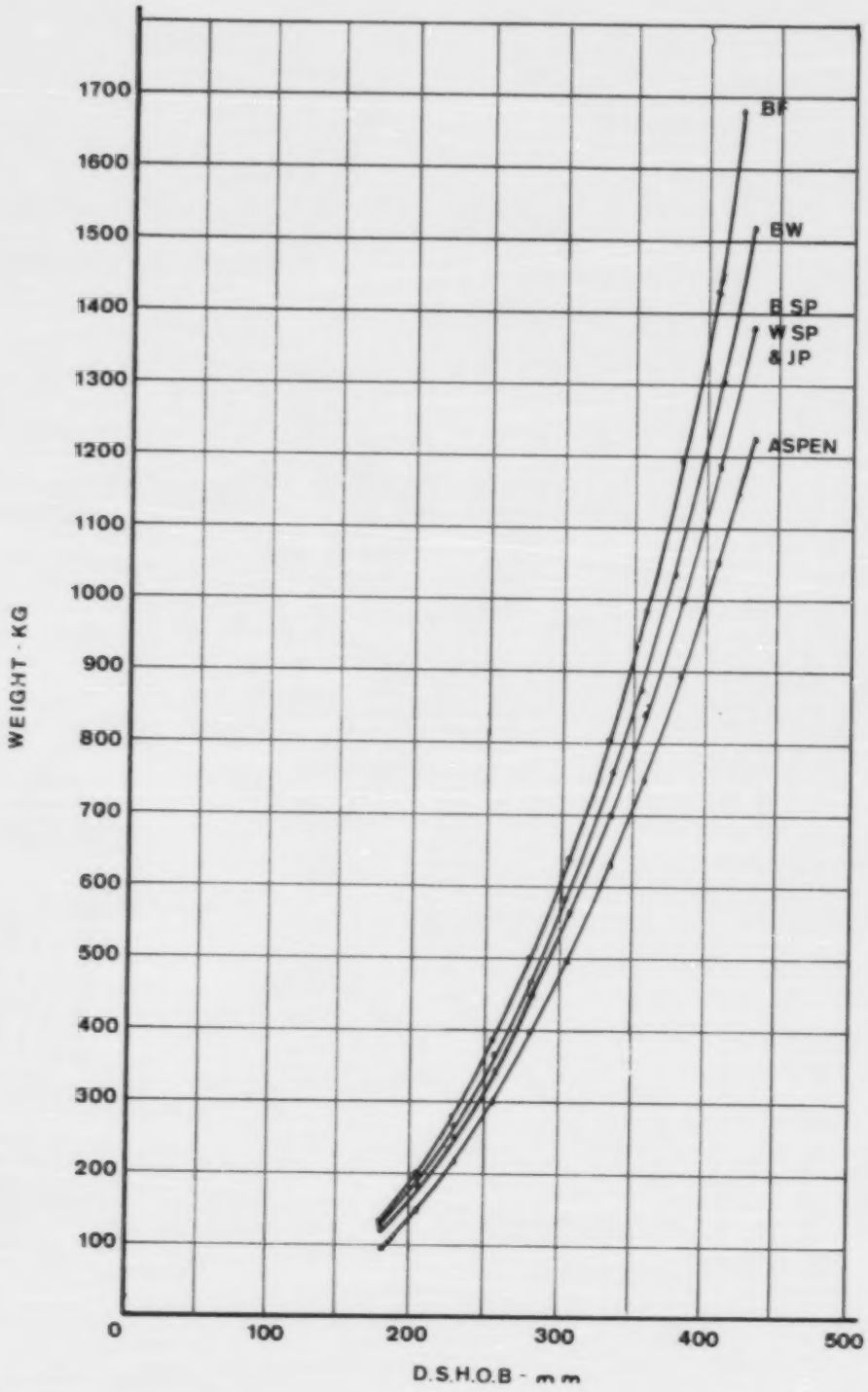



Figure 18. Maximum green weights of full trees, spruces, balsam fir and jack pine.

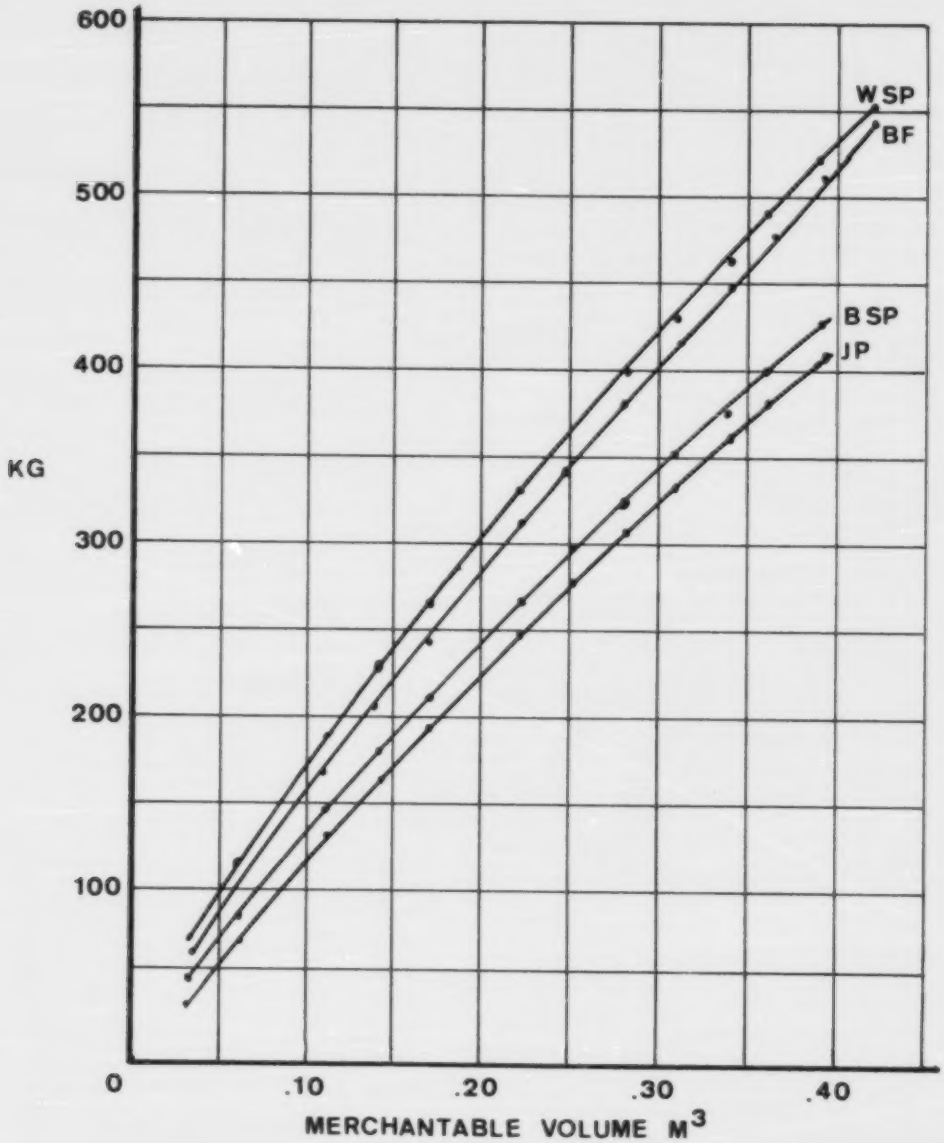



Figure 19. Green weight of full trees, by tree volumes, spruces, balsam fir and jack pine.

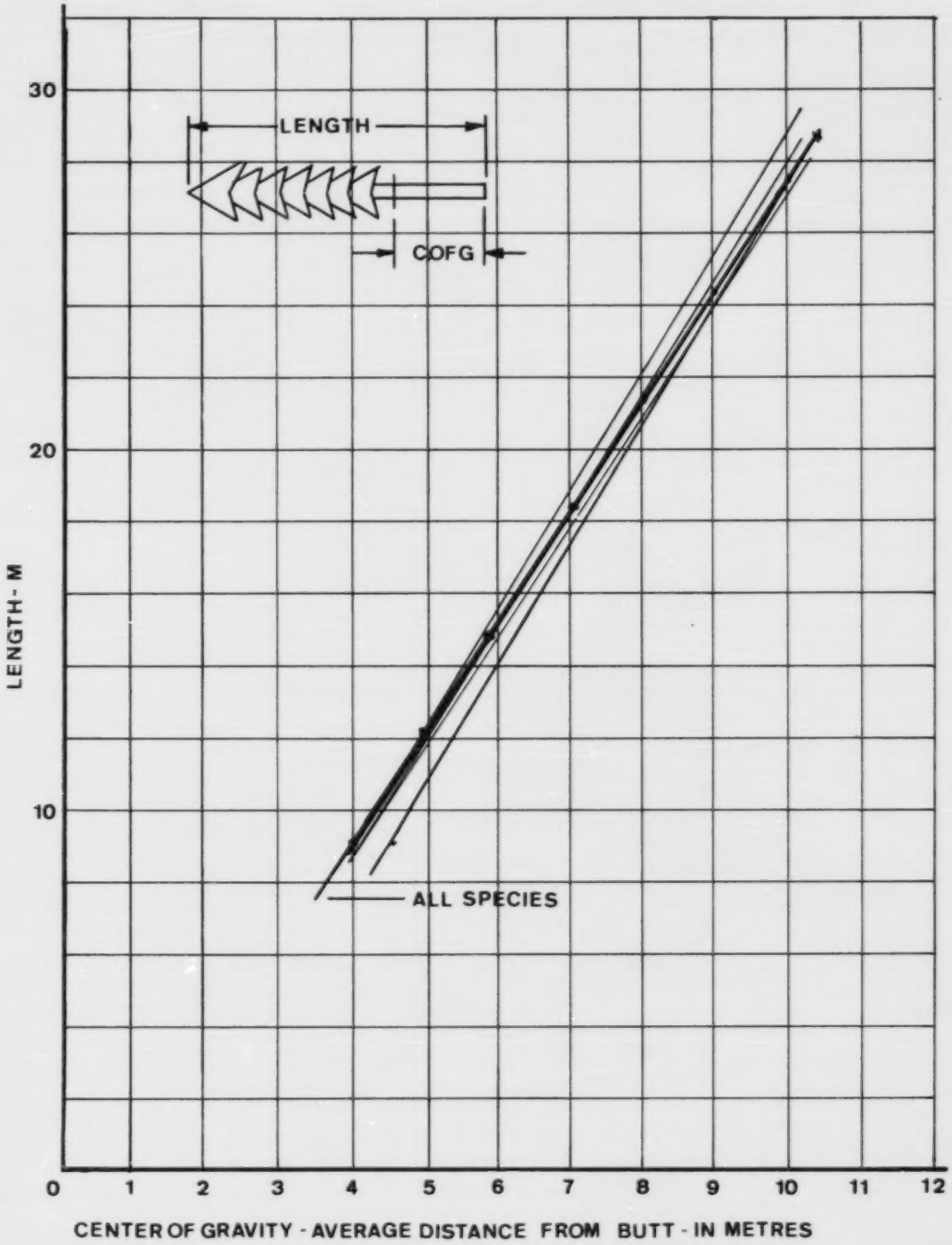



Figure 20. Location of centre of gravity of full trees as a function of full tree lengths (Keen 1963).

## Contaminants

One of the problems encountered in the utilization of whole-tree chips, whether in pulping or as boiler fuel is contaminants which are collected in the harvesting process. Such contaminants are picked up by limbs, twigs and bark when whole trees are skidded and to a lesser degree when being handled on landings. The use of feller-forwarders greatly reduces this problem.

One study (Conner 1978) showed that a kraft pulp mill received 14 lbs of sand and grit per ton of green chips, the equivalent of 66 lbs per cord of wood. Such sand and grit has a serious impact on chip feeding equipment in the pulping operation but also on chip fuel handling equipment and boiler tubs when burned.

## Load Bulk Density

Bulk density is probably the most critical property of any load regarding the economics of its transport. Low density cargoes are more costly to transport because the weight capabilities of the transport vehicles cannot be realized. Transport costs or charges are usually calculated on a weight rather than a volume basis.

Forage crops have the same density problem as full trees and tree components and usually they are subjected to various mechanical processes to increase their bulk density significantly as shown in Table 6 (Halyk and Norris 1971).

Table 6. Variation in bulk density[1] of hay as a result of treatment.

| Description | Bulk density - kg/m$^3$ |
|---|---|
| Long loose hay | 30 to 65 |
| Chopped hay (5 cm - 10 cm theoretical) | 65 to 95 |
| Baled hay (medium density) | 65 to 190 |
| Gross silage (in tower silos, all moisture contents) | 160 to 280 |
| Cubed or wafered hay | 420 to 785 |

[1] Bulk density is the weight per unit volume of any material, including voids and water contained in it.

Where density differences between two acceptable alternatives are large there is little doubt about the result. This has been shown in agriculture in the displacement of loose hay by baled hay and its displacement by cubed or wafered hay. The same principle will apply to forest transport between compacted and uncompacted full trees, tree sections or tree components.

There is little or no information regarding bulk density of truck loads of full trees or tree components based upon Canadian experiences. However there are results of numerous studies in Scandinavia. It has been established there that bulk density depends upon species, diameter, branchiness, average piece length and moisture content. The diameter, branchiness and average piece length dictate to a degree the amount of voids in any unit of volume.

Table 7 and Table 8 give some bulk density figures for tree sections and tree components (Carlson and Rådström 1984) (Alexandersson, Carlson and Rådström 1983).

Table 7. The solid volume percentage and bulk density for different moisture-content values. Average values from a number of haulage studies conducted by Skogsarbeten.

| Assortment | Solid Volume % | Bulk density, kg/m³ (stacked) at a moisture content of 30% | 40% | 50% |
|---|---|---|---|---|
| Uncompacted tree-sections from final fellings | 30 | 180 | 210 | 250 |
| Uncompacted tree-sections from early thinnings | 25 | 135 | 160 | 190 |
| Uncompacted tree residuals from final fellings | 20 | 130 | 150 | 180 |

This table shows that tree sections from final fellings have a higher percentage solid volume than those from thinnings because their diameters are greater. The table also shows the great influence increased moisture content has upon bulk density.

It is possible to calculate what bulk density will be required for a load if given the cubic volume of a trailer and the uncompacted bulk density of the load, whether it is full trees, tree sections or tree components. Assume a trailer with a load capacity of 125 m³. Then, to meet its legal allowable load capacity of approximately 39 000 kg, the load bulk density should equal 296 kg/m³. From Table 7 uncompacted tree sections at 50 percent moisture

content have a bulk density of 250 kg/m³. Then the relative increase in bulk density required by compaction will be:

$$\frac{(\text{density after compaction} - \text{density before compaction}) \times 100}{\text{density before compaction}}$$

$$= \frac{(296 - 250) \times 100}{250} = 18\%$$

Most studies to date have established that it is difficult to make up a full load (to the capacity of the transport unit). The reasons for this are because of the nature of full trees; their shape, weight and branch distribution, as well as random lengths. It is very difficult to fill the space available properly.

In Germany the policy appears to be to top the full trees at the minimum top diameter in the woods at time of felling. This could reduce the total length, for eastern Canadian coniferous species, by 4-5 metres and would permit a denser load.

Figure 21 shows a marked difference in density in uncompacted and compacted loads of full trees and tree sections. The data was based upon small trees but shows the trend to higher load densities with larger tree diameters.

Table 8. Factors affecting bulk density of loads, character of loads (Alexandersson et al 1984).

| Character of Load | Basic Density kg/m³ (solid vol.) | Moisture Content % | Green Density kg/m³ (solid vol.) | Solid Volume (stacked) % | Bulk Density kg/m³ (2) | Average Length - metres |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Full trees | 440 | 50 | 880 | 20% | 176 | 15.20(1) |
| Unlimbed tree sections | 420 | 50 | 840 | 30% | 252 | 5 |
| Round logs | 450 | 50 | 900 | 65% | 585 | 4.5 |
| Logging residues | 400 | 40 | 667 | 20% | 133 | - |
| Fuel chips | 450 | 40 | 750 | 30% | 225 | - |

[1] Depending upon tree diameter

[2] Bulk density (kg/m³) = $\frac{\text{Basic Density (kg/m}^3\text{ solid vol.) x Solid Volume (stacked) (\%)}}{\text{1-Moisture Content (\%)}}$

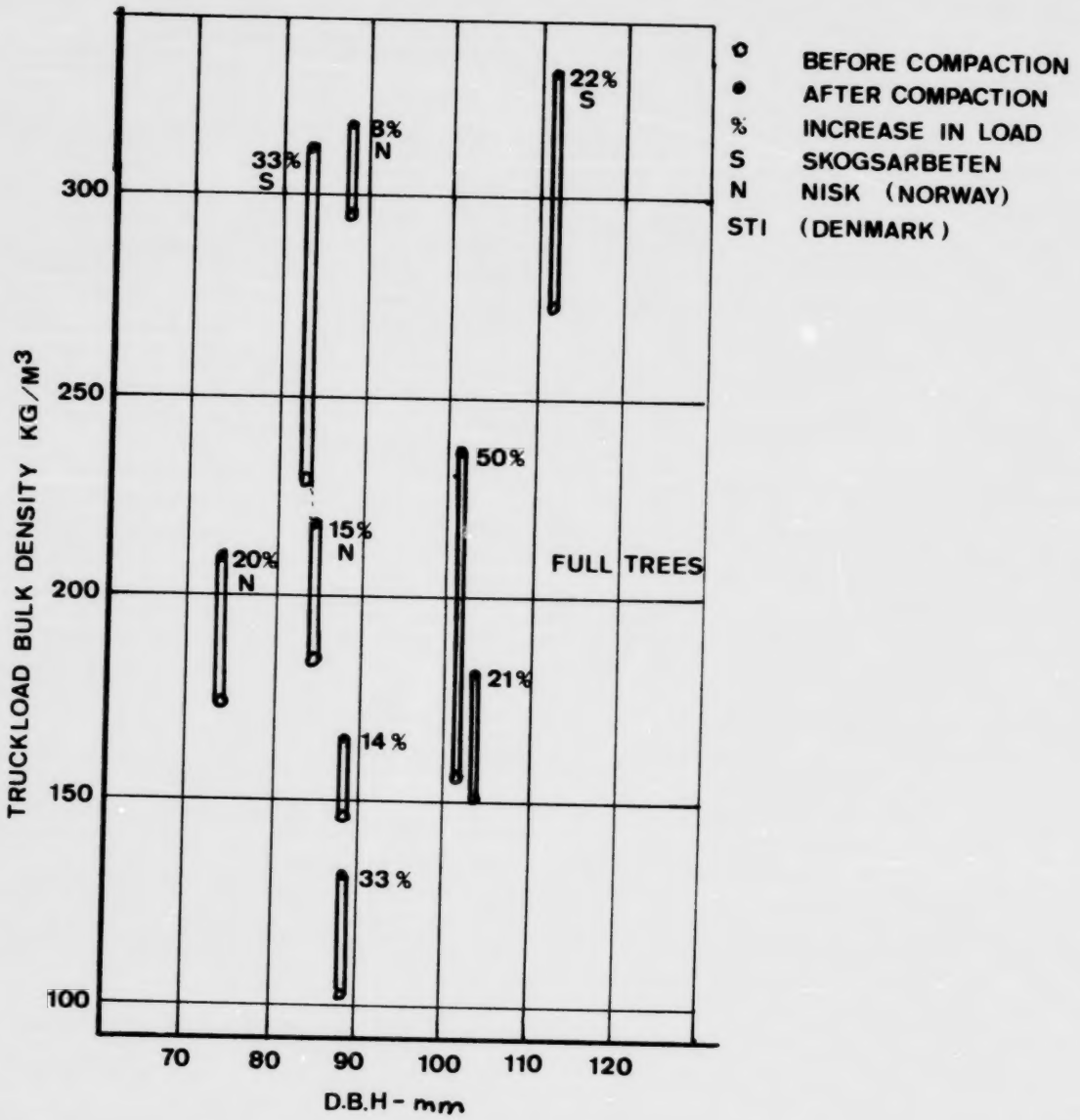



Figure 21. Data from three countries showing results of compaction studies on small trees, both full trees and tree section (Carlsson, Hansen, Larsson 1980).

In considering compaction techniques perhaps thought should be paid to other materials and situations. For example the methods for compacting loads of full trees, tree sections and logging residues have all been undertaken with full truck-trailer loads, often loaded to a surcharge prior to compaction.

Trials of baling logging slash have required that the material being baled be fed in a manner that successive loads placed in the baler are compressed one after the other until the bale is completed, bound and ejected (Schiess and Yonaka 1982, Schiess and Yonaka 1983).

The construction of modules or dense stacks of corn stover, cotton, orchard prunings etc., is gaining popularity in the southwestern United States. To construct such modules which may be up to 2.5 metres wide, 2 metres high and 10 metres in length the material is loaded into the form and spread and tamped with an hydraulic tamper. This is done in layers until the desired load size or weight is achieved. By compacting in layers the load develops an integrity which permits handling as a unit, similar to bales (Figure 22).

When compacting soils, particularly granular soils, the material is put down in 15 cm to 30 cm lifts or layers and is compacted prior to the deposition of the next layer. Layers thicker than 30 cm result in the compacting effort being dissipated with greatly reduced density in the lower portion. One method of increasing the compaction effort is to vibrate the compactor. When the compactor is vibrated some of the motion is transferred to the elements being compacted and they tend to move together to fill all gaps between them.

Vibration may or may not improve compaction of full trees, tree sections or logging residues to the point that it is economic but it should be considered. One need only examine railway cars or truck loads of pulpwood bolts and chips to observe the degree of packing that has taken place from vibration during transit. Chips for example will settle as much as 10 percent in volume in a chip van (Gislerud 1976).

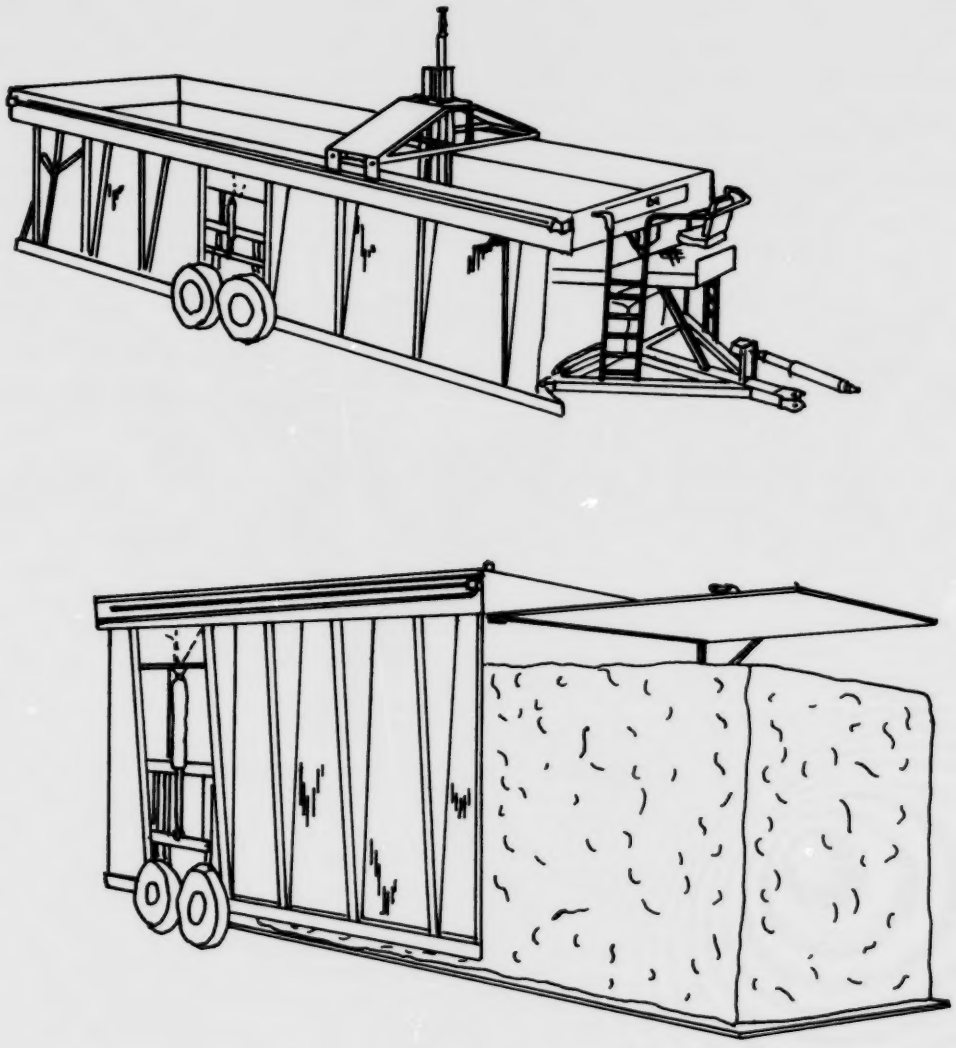


Figure 22. Module builder for cotton, corn stover, orchard prunings, illustrating hydraulic tamper to increase bulk density (Cotton Machinery Company).

## Tree Sections

Where the transportation of full trees has not proven practical or economical it may prove attractive to transport unlimbed trees in sections. In this process full trees, depending upon their lengths, are cut into two or three sections which permit their being loaded into shorter trailers to form more regular more compact and denser loads. The process is being actively explored in Sweden and Finland (Larsson 1980).

Full trees are skidded or forwarded to roadside where they are picked up by a knuckle-boom loader with a grapple in which a chainsaw has been incorporated. The full trees are cut to length and loaded in the same operation. In Finland sawlogs are taken from the lower portion of the tree and are limbed if this is required. The crown of the same tree, containing pulpwood is unlimbed as are smaller trees containing pulpwood only. The sawlogs and unlimbed portions are loaded in mixture. The weight of the logs crushes limbs and results in a compact load (Figure 33).

The transport of untrimmed tree sections is being actively studied and promoted in Sweden. There is no doubt that with such material, loads of greater bulk density than for full trees are obtainable. The loads are of uniform maximum length and short material is readily absorbed into the body of the load. Reducing full tree lengths to uniform shorter lengths lends itself to existing methods of harvesting in Sweden and Finland. There the standard procedure is to reduce trees to short lengths and to forward them out of the forest. In Canada the standard procedure is to skid tree lengths or full trees out of the forest to roadside. The truck transport of tree lengths is common practice in eastern Canada and there should be little difficulty in adjusting to loading and transporting full trees if an economic bulk density of load can be achieved.

## CANADA

In Sweden and Finland the trend is definitely towards the production of untrimmed tree sections as compared to full trees, whole or topped. The main reason claimed is the ability to obtain an acceptable bulk density with tree sections compared to full trees. Another very important consideration is that in these two countries logging operations have historically been geared to shortwood and their experience and particularly their equipment is all based upon shortwood or tree sections.

In North America the acceptance of tree lengths in skidding, handling and road transport is industry-wide and the challenge is to develop the means to develop an acceptable load bulk density with full trees.

Transportation is only one element of cost in the harvesting and delivery of full trees to a mill. The economics of full tree harvesting by current estimates shows a 20 percent cost reduction over tree lengths before any credits for energy chips. If these are taken into account it shows a 50 percent cost reduction for the delivered pulpwood.

Most studies of the transportation of full trees analyze in detail the reduction in solid wood content of the load, and this appears to be their major concern. The volume and value of biomass as an energy feedstock should be included in the calculations along with the volume and value of merchantable wood.

Wood has 40 percent of the energy content of oil, 45 percent of the energy content of natural gas and 57 percent of the energy content of coal. Based upon a 42 percent moisture content and a 58 percent boiler efficiency, wood will have an energy value of $6.73 \times 10^6$ J/kg. This energy value per green tonne is equal to that of 187.4 litres of oil or 1.18 bbls of oil. If current prices are $28.00/bbl then 1 tonne of tree slash will have an equivalent energy value of $33.00.

Full tree transport by truck-trailer in Canada has only been carried out on private roads or roads with no size or weight constraints. Examples of such operations have been described in detail by Routhier (1982) and Lavoie (1980). Under such conditions loading trees butt and top has been practical and load widths up to 4.3 metres and load heights up to 6 metres have been attained. Loads of 85 000 kg have been reached.

Several companies in eastern Canada (east of the Rockies) have carried out tests of full tree transport but until more suitable trailer equipment becomes available this method will not expand.

## Highway Regulations

With small variations highway regulations governing length, width, height and weight are relatively uniform across eastern Canada. The provinces of Ontario and Quebec permit greater loads for some truck-trailer combinations but the size specifications are similar (Table 9).

Three different combinations have been considered as the spread of vehicle combinations likely to be considered in hauling full trees on public roads (1) tractor and semi-trailer, 3 axles; (2) tandem tractor and tandem semi-trailer, 5 axles; (3) tandem tractor and 3-axle semi-trailer, 6 axles (Table 10).

The tandem tractor and tandem semi-trailer is chosen as the likeliest candidate as it handles well on gravel woods' roads as well as paved public roads. The tractor and semi-trailer (3 axles) often has problems with traction on lower standard roads, while the tandem tractor and 3 axle semi-trailer (6 axles) has too great a weight capacity to permit reaching its allowed payload weight.

Table 9. Provincial regulations governing size and weights of truck trailer combinations on public roads.

| | NFLD. | N.S. | N.B. | P.E.I. | QUE. | ONT. | MAN. | SASK. | ALTA. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OVERALL LENGTH Combination (m) ..... | 21.0 | 21.0 | 20.0 | 21.0 | 21.0 | 21.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| MAXIMUM WIDTH (m) ..... | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 |
| MAXIMUM HEIGHT (m) ..... | 4.15 | 4.15 | 4.12 | 4.5 | 4.15 | 4.15 | 4.15 | 4.15 | 4.15 |
| Tractor and semi-trailer: 3 axles weight kg | 22 500 | 22 500 | 22 500 | 22 500 | 28 500 | 29 000 | 23 700 | 23 600 | 25 400 |
| Tandem tractor and tandem semi-trailer: 5 axles weight kg | 39 500 | 39 500 | 39 500 | 39 700 | 48 500 | 47 200 | 37 500 | 37 500 | 39 000 |
| Tandem tractor and 3-axle semi-trailer: 6 axles weight kg | 48 500 | 48 500 | 48 500 | 48 700 | 57 500 | 56 700 | 37 500 | 37 500 | 39 000 |

## Possible Loads on Public Roads

Using the regulations applicable to the province of Ontario, it will be seen that the overall length, width and height of the different truck semi-trailer combinations are the same. Only the allowable weights change with the number of axles under the load.

Table 10. Cubic volume of trailers.

| Hauling Combination | Width-m | Height-m | Length-m | Cubic Volume-$m^3$ |
|---|---|---|---|---|
| Tractor and semi-tailer 3 axles | 2.4 | 2.75 | 18 | 118 (1) |
| Tandem tractor and tandem semi-trailer 5 axles | 2.4 | 2.75 | 17 | 112.2 |
| Tandem tractor and 3-axle semi-trailer 6 axles | 2.4 | 2.75 | 17 | 112.2 |

(1) Single axle truck with short wheelbase permitted trailer 1 metre longer than others.

From the cubic volume of the trailers it is possible to calculate the weights of loads of full trees and the average bulk density of each.

Table 11. Average bulk densities required to meet maximum load limits.

| Hauling Combination | Allowable Total Weight kg | Weight of Hauling Combination kg | Weight of Payload kg | Volume within Trailer Dimensions $m^3$ | Average Bulk Density at :egal Load Limit $kg/m^3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Tractor and semi-trailer - 3 axles | 29 000 | 14 000 | 15 000 | 118 | 127 |
| Tandem tractor and tandem semi-trailer-5 axles | 47 200 | 22 000 | 25 200 | 112.2 | 225 |
| Tandem tractor and 3 axles semi-trailer-6 axles | 56 700 | 24 500 | 32 200 | 112.2 | 287 |

From tests undertaken in Sweden, as none are available in Canada, it was established that for uncompacted full trees the solids content per apparent cubic metre was 20 percent (80 percent voids). Thus for a basic density o.d. of 440 kg/m$^3$ at 50 percent moisture content, the bulk load density for a trailer load of full trees will be 176 kg/m$^3$.

Specific weight/volume measurements for full trees are not available in Canada. The studies by Lavoie (1980) Routhier (1982) Mannisto and Lovas (1983) and Zundel (1984) all relate the weight of energy biomass produced to the volume of merchantable wood produced. Where total load weights are given the volume occupied by the full trees is not given. Zundel (1984) does give an average total weight for a highway trailer load of full trees but no load size measurements. If the legal allowable cubage is assumed (112.2 m$^3$), for the average total weight of 21 470 kg, then the bulk density will be 191 kg/m$^3$. This is roughly 10 percent higher than the Swedish experience.

From Figure 17 it is established that the weight for full trees is 950 kg/m$^3$. At 20 percent solid content per apparent cubic metre, this would result in a bulk load density for a trailer load of full trees of 190 kg/m$^3$.

In establishing the relative portions of the load, the density of bole wood has been taken to be 745 kg/m$^3$ (Figure 17 and Routhier (1982)). The measured amounts of limbs and tops actually loaded into trailers has been found to vary widely by species, season harvested, logging method, health of stand, etc. For this study an amount of 205 kg/m$^3$ has been assumed.

The cubic volume available for a load of full trees has been given as 112.2 $m^3$ to 118 $m^3$, based upon load lengths of 17-18 metres. However trees to be loaded (using Ontario data) vary from 8 metres to 25 metres in length. A plot of percentage of load against load tree length class shows that 42 percent of the trees will be longer than 16 metres. These will require topping or the use of longer trailers. If, for example 20 metre long trailers were possible through special licence, 92 percent of all the trees could be accommodated (Figure 23).

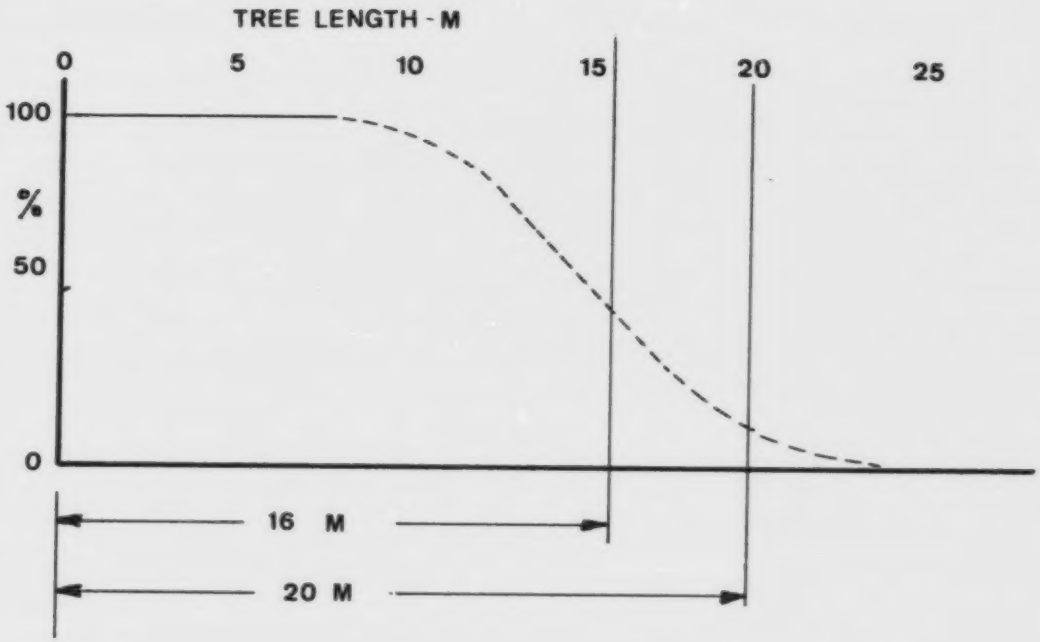



Figure 23. Cumulative total full tree lengths (from Figure 15) plotted against trailer length.

Table 12. Data on full tree trailer loads.

| Hauling Combination | Trailer Volume $m^3$ | Ratio Solid Volume to apparent $m^3$ | Solid Wood Volume in trailer $m^3$ | Weight of Full Trees @ 950 kg/$m^3$ | Allowable Payload Weight kg | Ratio $\frac{\text{Calculated}}{\text{Allowable}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tractor and semi-trailer 3 axles | 118 | .20 | 23.6 | 22 420 | 15 000 | 1.49 |
| Tandem tractor and tandem semi-trailer - 5 axles | 112.2 | .20 | 22.4 | 21 280 | 25 200 | 0.84 |
| Tandem tractor and 3-axle semi-trailer - 6 axles | 112.2 | .20 | 22.4 | 21 280 | 32 200 | 0.66 |

(1) From Figure 17.

Table 13. Estimated transport costs for full trees on public roads - t/km.

| Hauling Combination | Wt. of Full Tree Load - kg | Allowable Wt. of Payload - kg | Ratio Calculated / Allowable | Cost/km ¢ | Cost t/km ¢ | Wt. of Load Compacted 20% | Ratio Calculated / Allowable | Cost t/km ¢ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tractor and semi-trailer - 3 axles | 22 420 | 15 000 | 1.49 | 102 | 6.8 | 26 904 | 1.79 | 6.8 |
| Tandem tractor and tandem semi-trailer - 5 axles | 21 800 | 25 200 | 0.84 | 144 | 6.6 | 26 160 | 1.04 | 5.7 |
| Tandem tractor and 3-axle semi-trailer - 6 axles | 21 800 | 32 200 | 0.66 | 147 | 6.7 | 26 160 | 0.81 | 5.6 |

## Hauling Costs

A detailed cost study on truck hauling on public roads in 1984 has been issued by Transport Canada (Trimac 1984). For a 5-axle semi-trailer unit the costs are $1.39 km on paved roads and $1.60 km on gravel roads. A mix of 25 percent gravel road and 75 percent paved road has been assumed to give an average hauling cost of $1.44/km. The 3 axle combination with the same assumption would cost $1.02/km and the 6 axle combination $1.47/km.

Table 13 shows transport costs per t/km.

## SWEDEN

Beginning shortly after the oil crisis in 1974, serious studies of full tree harvesting and transport were undertaken in Sweden. For the first time tree components besides bolewood had a substantial economic value as a source of energy.

Initially such studies concentrated upon full trees and on logging residues but more recently untrimmed tree sections have received a good deal of attention. Table 15 indicates the current and projected status of this activity.

Table 14. Volumes being handled on conversion sites in Sweden. (millions of $m^3$ solid, over bark) (Akre 1984).

| Method | 1982 | 1985 | 1990 |
|---|---|---|---|
| Tree length method | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Tree section method | 0.5 | 2.0 | 3.6 |
| Full tree | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| TOTAL | 0.8 | 2.3 | 3.9 |

From this table it will be seen that no increase is anticipated in either tree length or full tree harvesting and transport, with all of the growth being in the area of the tree section method. Whole tree sections refer to unlimbed bucked sections of trees in length of 3-5 metres. In whole-tree section harvesting no limbing is carried out in the forest. This method of harvesting has the advantages of minimal work being done in the forest stand but with controlled lengths during the loading and transport phase along with the delivery of limbs and tops for energy production (Jonsson 1982).

According to Akre (1984) the share of full tree and tree section methods are expected to increase in Scandinavia, particularly in Sweden, but are not expected to represent more than 5-6 percent of the annual harvest in 1990.

The majority of the trials and development work in Sweden has followed two lines (1) the loading and transport of logging residues accumulated at roadside landings and (2) unlimbed tree sections. Funded mainly through the National Board of Energy Source Development, prototype vehicles have been designed, constructed and field tested. The units developed to date have compaction elements incorporated in them to increase the bulk density of the residues and tree sections (Danielsson 1983).

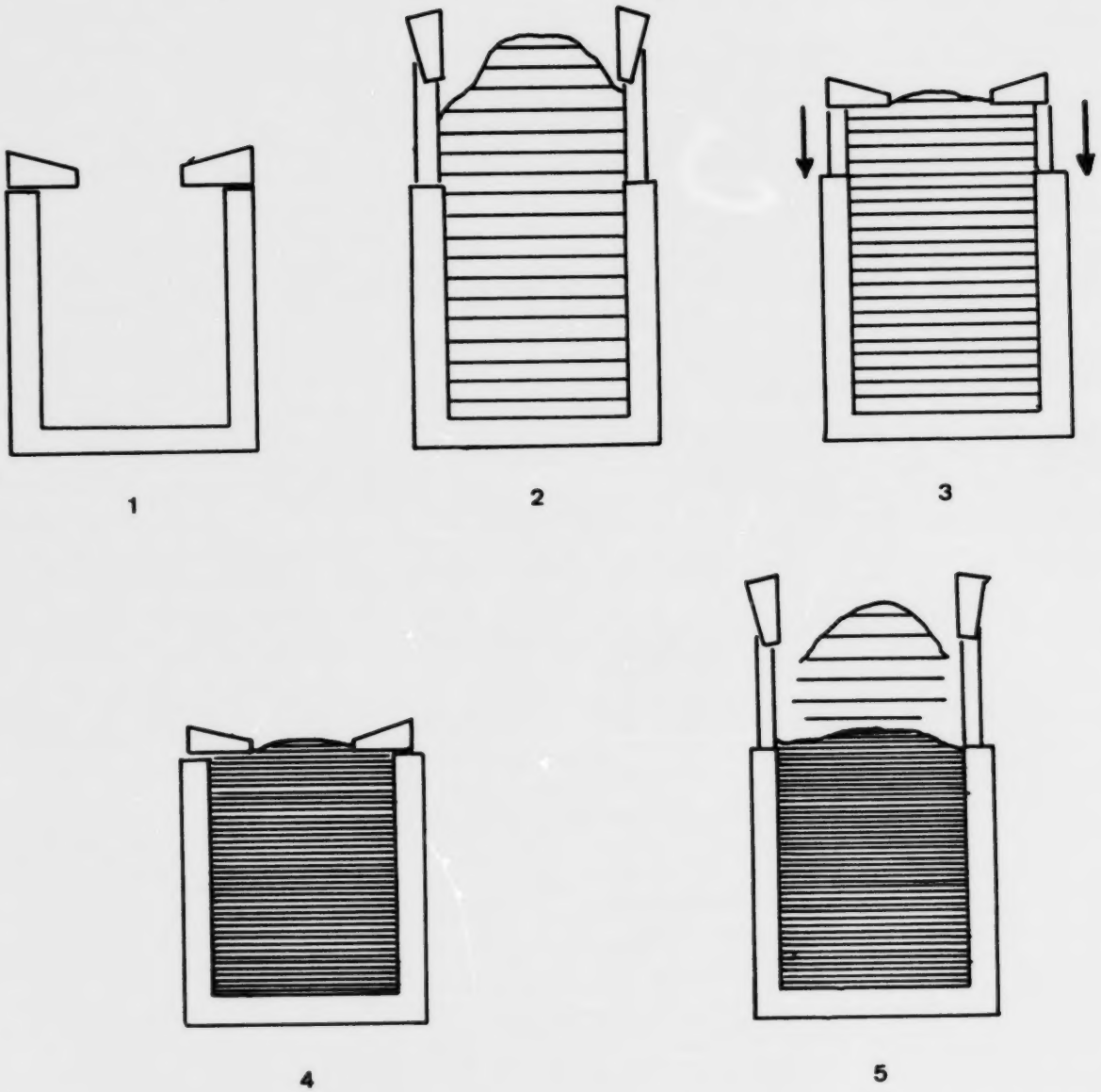



Figure 24. Hydrovågs compactor (1) Truck is empty, telescopic side stakes are retracted and upper arms are folded inwards. (2) During loading operation the side stakes are extended upwards and upper arms are raised. (3) When truck is loaded the upper arms are folded inwards and side stakes are retracted. (4) Upper arms compress load and stakes retracted until limit is reached. (5) If more material is loaded the compression cycle is repeated. (Carlsson T. and Magnus Larsson 1981).

## Hydrovåg AB, Burträsk, Sweden

This company has designed and constructed a trailer with flaps mounted on the top of telescopic side stakes. Figure 24 shows the principle of operation to compress and densify the load. This principle has shown promise with both logging slash and with tree sections.

Carlsson and Larsson (1981) studied the Hydrovåg load compactor. They found that moisture content of the tree sections or tree components was a very important factor in establishing the bulk density of a load. This is illustrated in Table 15.

Table 15. Load bulk densities to be achieved by Hydrovåg system.

| Moisture Content % | Green Weight kg/m³ | Dry Weight kg/m³ | Bulk Density kg/m³ uncompacted | Bulk Density kg/m³ compacted to give payload | Degree of Compaction % required |
|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 550 | 440 | 112 | 307 | 174 |
| 30 | 629 | 440 | 128 | 307 | 140 |
| 40 | 733 | 440 | 150 | 307 | 105 |
| 50 | 880 | 440 | 180 | 307 | 71 |
| 60 | 1100 | 440 | 225 | 307 | 36 |

## Tracobi Press

The Tracobi Press is a compactor somewhat similar in action to the Hydrovåg. Like the Hydrovåg it is permanently mounted on the trailer and is in the form of telescopic stakes. The Tracobi Press is designed for use on both tree sections and logging residues (Carlsson and Rådström 1984). This unit is illustrated in Figure 25. It has a U-shaped frame with two compression arms which extend upwards inside the vertical framework. The compression arms are activated by hydraulic cylinders which on each side have a force of 10 tonnes. This gives 20 tonnes compressive force per frame or 40 tonnes pressure per trailer load.

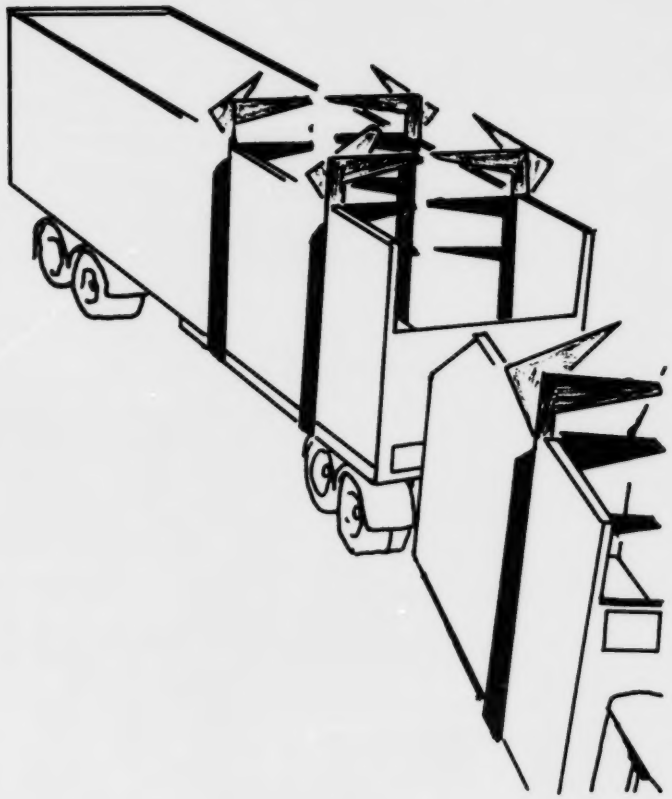
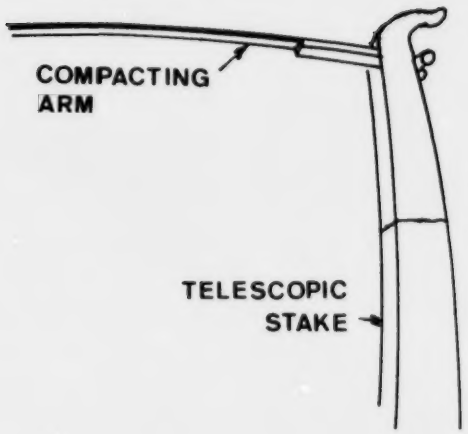


Figure 25. Tracobi Press mounted truck and trailer.

**Exte Comp (Exte Fabriks Ab)** (Larsson and Carlsson 1982).

This is a compression device designed for trailers transporting full trees or tree sections. The device requires a trailer with 4 bunks equipped with telescopic stakes. On the top of each stake along one side of the trailer is mounted a hydraulic rotator for manoeuvering a cross beam between itself and the stake opposite. On the top of each stake on the opposite side there is a manoeuverable grapple whose function is to lock the cross beam during the compaction. The compaction is carried out by retracting the telescopic stakes and pulling the crossbeam down across the load. The device is illustrated in Figure 26. Each telescopic stake has a force of 12 tonnes so that on the two bunks the compaction force totals 48 tonness. In the mid-1970's, Iggesunds Bruk AB undertook some studies on transporting logging residues. Figure 27 is a sketch of the compression equipment they developed to carry out their tests.



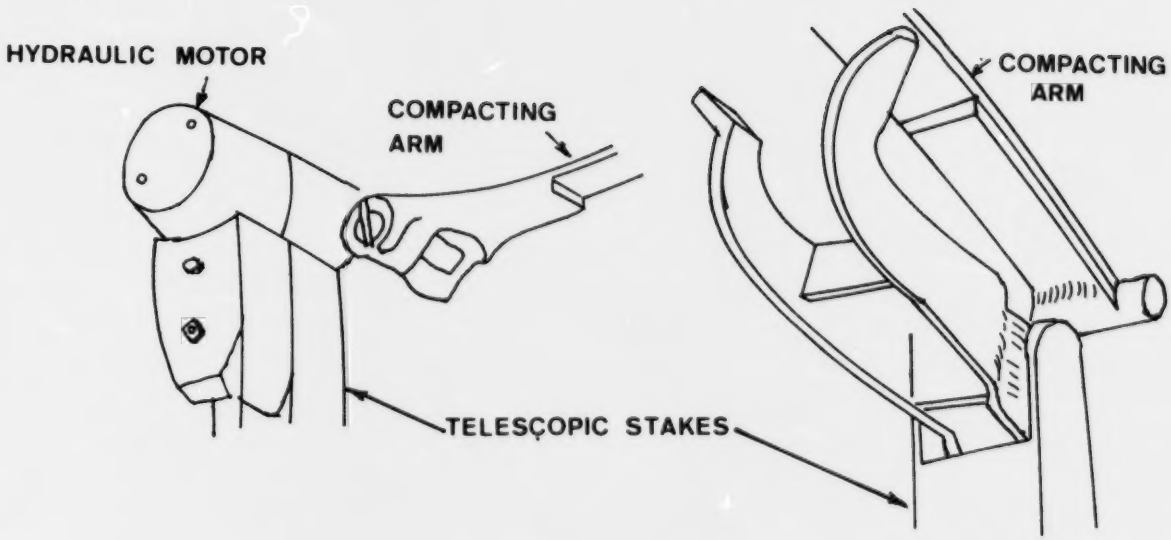




Figure 26. Exte Comp.

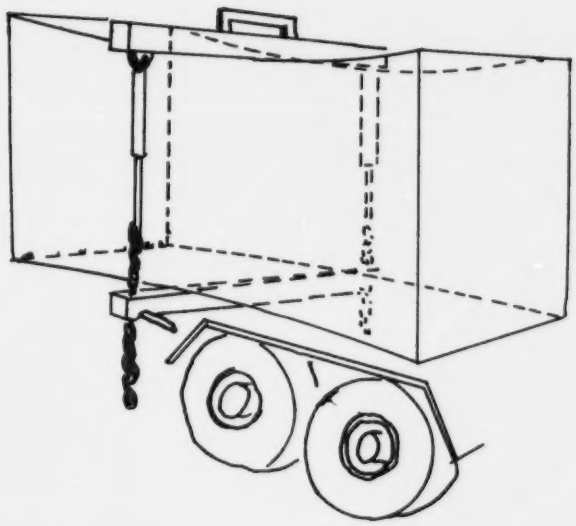


Figure 27. Compression test equipment developed by Iggesunds Bruk AB.

**Independent Compaction Devices**

The addition of intregal compaction devices may add considerable dead or tare weight to a trailer, thus reducing its payload capacity by perhaps several tonnes. With this in mind different approaches have been considered for compaction devices to be used at the point of loading, but separate from the hauling unit.

If loading is by grapple a simple technique to compact the load may be to use a large log or a boulder held in the loaders grapple. Some types of loaders have hydraulic cylinders capable of exerting a strong compressive force and pressing the load with the grapple many compact it sufficiently to result in an economic bulk density (Carlsson, Rådström 1984).

A compacting device which is generating considerable interest (Figure 28) has been developed by Jan Evert with the assistance of the Swedish Forest Service.

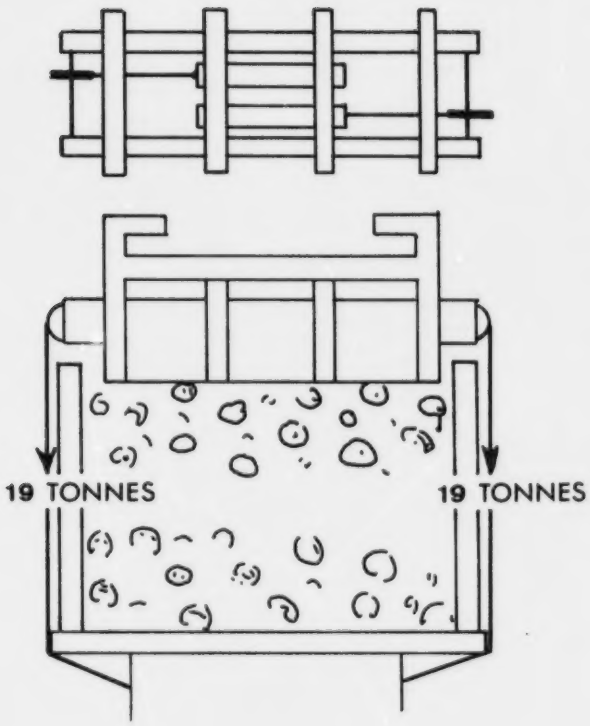



Figure 28. Independent compaction device (Evert).

This device consists of a framework, two pulleys, two hydraulic cylinders and some cables. The hydraulic cylinders are attached by hoses to the hydraulic system of the loading crane.

In operation the crane loads a trailer with full trees or tree sections and builds up a surcharge well above the top of the side stakes. It then picks up the Evert compactor and places it on top of the load. Cables from the ends of the pistons pass over the pulley wheels at each end of the framework and are pulled down and attached to the frame of the trailer, underneath the load. Each piston is capable of a force of 19 tonnes, or a downward pressure totalling 38 tonnes. While in a compacted condition, a chain or cable is thrown over the load and fastened. The compactor is then slackened off, the cables unfastened and the compactor removed.

Studies made of this method of compaction showed that it produced a compaction ratio of 18%. The bulk density of the loads have been calculated for varying moisture contents (Table 16).

Table 16. Green bulk densities calculated on basis of tests of Evert compactor.

| | Without Compaction | | | With Compaction | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Moisture content - % | 30 | 40 | 50 | 30 | 40 | 50 |
| Green bulk density, kg/m³ (stacked volume) | 178 | 207 | 249 | 210 | 245 | 294 |
| Compaction ratio, % | | | | | 18 | |

**A-Trans**

This Swedish designed trailer appears to be patterned in part after the German Doll trailers with its extendable side wall section making it adaptable to varying tree lengths. One feature of this trailer is its bogie undercarriage which permits ready tracking of the trailer wheels (Figure 29).

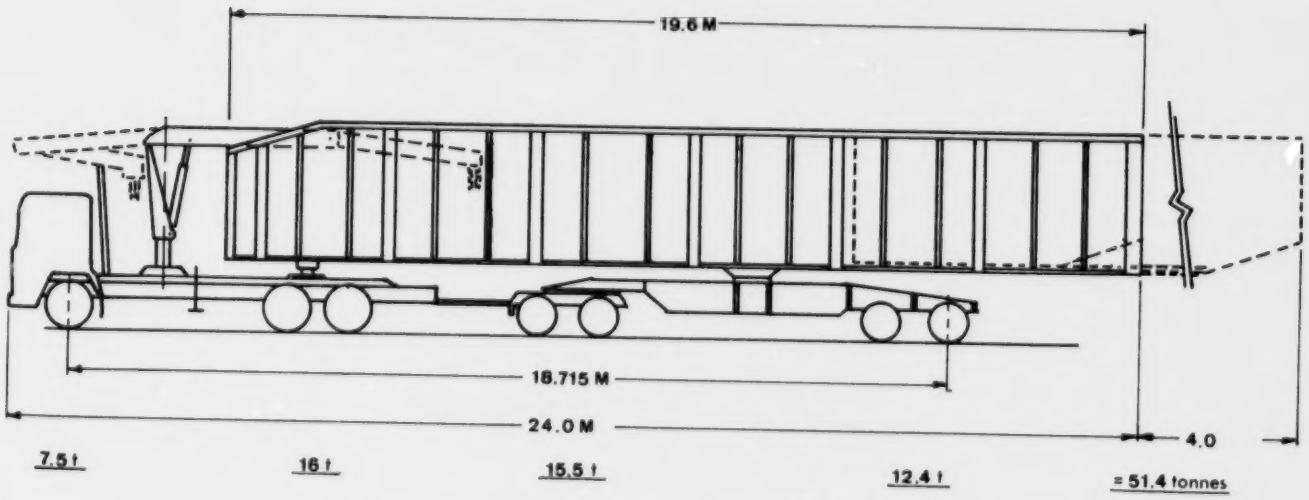



Figure 29.

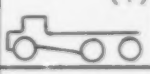
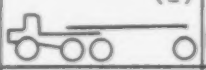
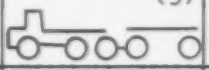
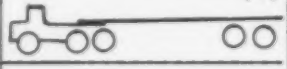
## NORWAY

An early study of truck hauling of full trees in Norway considered thinnings only, up to lengths of 12-13 metres (Wibstad 1976). In Norway the legal load length for a semi-trailer combination is 16 metres and for a tandem trailer with full trailer behind is 18 metres.

Wibstad's comments were "Without compressing the load, trees with branches, either whole or in parts, make for a low density load. Whole-length coniferous thinnings studied in Norwegian investigations weighed about 160 kg/m³ of stacked wood. Swedish studies show that when the timber is cut to a maximum length of 6 metres, the weight per m³ of stacked wood will increase to 190 kg."

Table 17 shows the various degrees of utilization of the load capacity for different truck trailer combinations. Only those units with a legal weight per axle of 10 tonnes were considered, as this is the legal axle load in most provinces in Canada except Ontario and Quebec where the legal weight per axle is 11 tons.

Table 17. Utilization of load capacity for different truck-trailer combinations in Norway (Wibstad 1976).

| Type of Equipment | Whole Trees | | Tree Sections ≤ 6 metre lengths | |
|---|---|---|---|---|
| | (1)  | (2)  | (3)  | (4)  |
| Total length-m | 15 | 15 | 18 | 24 |
| Legal weight per axle - t | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Legal gross weight- t | 27 | 33 | 41 | 43 |
| Vehicle weight-t | 14.5 | 15.5 | 15.5 | 17.5 |
| Load weight-t | 12.5 | 17.5 | 25.5 | 25.5 |
| Effective payload-m³ | 69 | 69 | 74 | 103 |
| Effective payload-t | 11 | 11 | 14 | 19.5 |
| Effective payload-% | 90 | 65 | 55 | 75 |

On the 10-tonne per axle weight, only the 3-axle semi-trailer combination (1) approaches full load capacity utilization at 90 percent. This indicates that for hauling whole trees there is an economic advantage in using smaller equipment than when transporting logs. If hauling is to be done to the 10 tonne per axle load limit it will be necessary to compress the loads, if the full load allowance is to be used.

No work has been carried out on truck-trailer transport of full trees in Norway since 1978*.

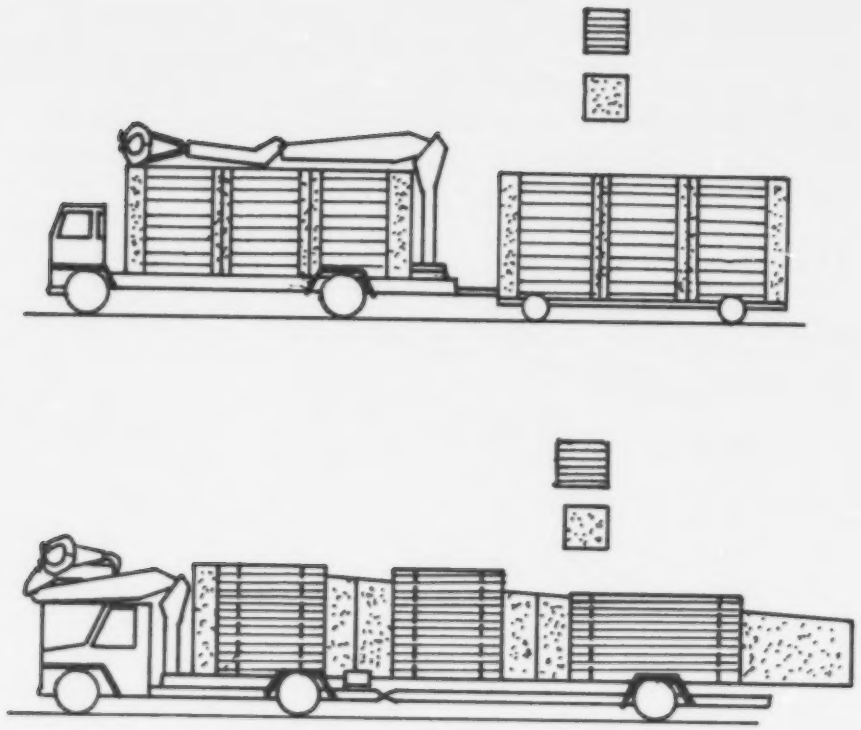


Figure 30. (1) Truck trailer combination for full trees or topped trees up to 14 metres in length. Side stakes are 2.5 metres high and side walls constructed of aluminum. (2) Truck trailer combination for transporting tree sections 6 metres in length (Skaar and Wefold 1979).

* Personal communication January 24, 1985. Reidar Skaar, Institute of Forest Operations and Techniques, Agricultural College of Norway.

## DENMARK

There is limited interest in central full tree conversion sites in Denmark (Akre 1984). Denmark is not a forest country. Traditionally conifers are delivered in tree lengths directly to the sawmill where logs are cut to specified dimensions.

Tests were undertaken in Denmark to compress loads of full trees when transporting thinnings (Wibstad 1976). Compression by expanding side stakes during loading and drawing them in when loaded gave a volume reduction of 10-30 percent. The experiments used articulated, 2-section stakes, 3 metres long, operating so that the 2 metre lower section stood vertically after compression and the 1 metre upper section folded down onto the load. The height of the vehicle was limited to 3.6 metres, which is the maximum allowed in Denmark.

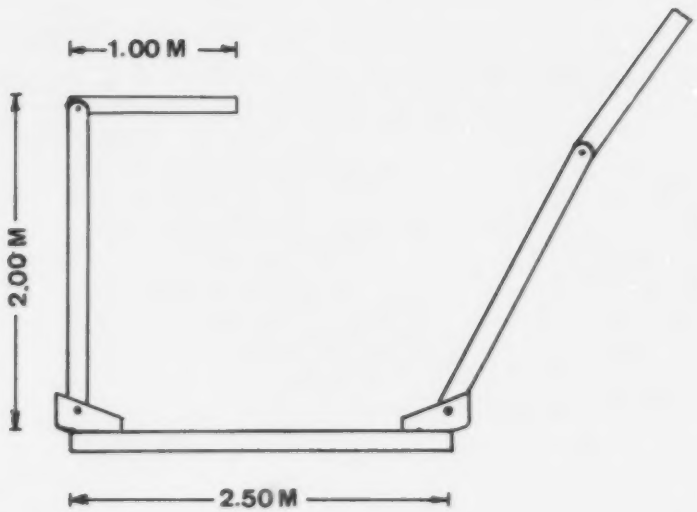



Figure 31. Equipment designed in Denmark for compressing full trees (Wibstad 1976).

## FINLAND

The truck transport of full trees was undertaken in an experimental basis in 1982 by Ahlström OY, Varkaus on public roads with a German built Doll Trailer. The results were discouraging and at present there is no full tree hauling in Finland.

Figure 32. Full tree transport experiment by Ahlström OY, Varkaus, Finland with German Doll trailer.

There have been ongoing trials of the tree-section method in Finland (Häggblom and Pennamen, 1983). In the Finnish operations the sawlog part of the tree is delimbed by powersaw in the forest and the pulpwood portions of the tree and pulpwood stems are delivered undelimbed to the mill.

In layered mixed loads the sawlogs were loaded on top of the part-trees in order to increase the pile density. The density of the pure part-tree load (42-tonne truck-trailer with 2-tiers) was 15.3 $m^3$ solid, that of a layered mixed load of part-trees and sawlogs was 33.8 $m^3$ solid and a load of sawlogs was 36.0 $m^3$ solid.

Figure 33 illustrates one technique developed in Finland for compacting loads of tree sections.

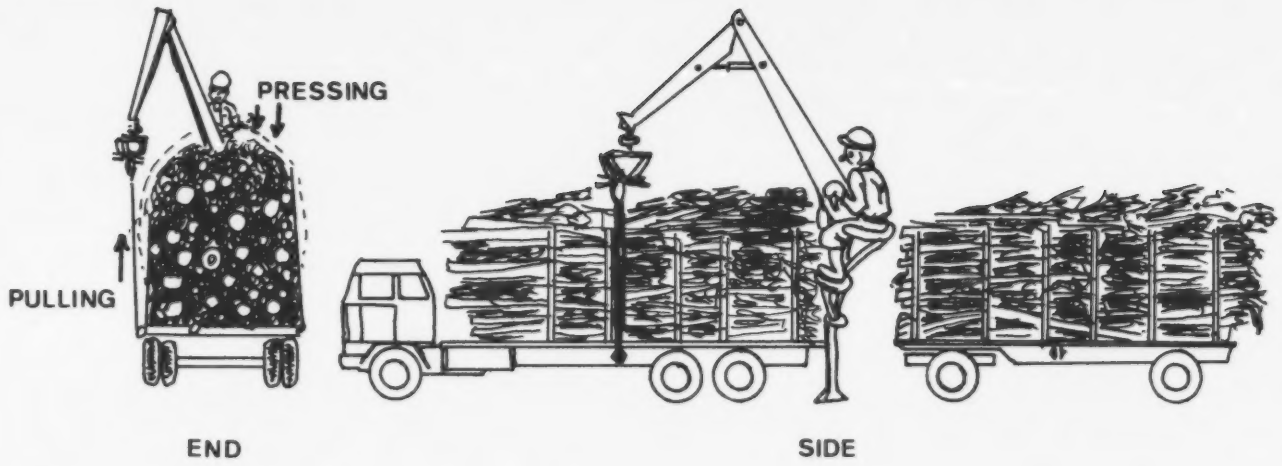



Figure 33. Load is compacted by loader pulling on cable. Cable is fastened on one side of truck or trailer frame, passes over the load, through a pulley attached to the truck or trailer frame and is picked up by loader (Peltola 1976).

## GERMANY

Central tree processing offers the possibility to develop the degree of utilization of trees as close to the optimum as possible. Instead of mechanization in the forest using large mobile machinery, characterized by high labor productivity and moderate costs, a technique has emerged in which processing is concentrated in a woodyard. Although this technique requires high initial investment it facilitates a high rate of utilization, optimized sorting and the marketing or distributing of the semi-finished products. It is claimed that this technology concentrated outside the forest opens up new possibilities in silvicultural management and also allows small forestry enterprises to take part in the new mechanization and marketing developments (Grammel 1982).

In the FDR, besides harvesting full trees, topped full trees are produced. The trees are topped at a diameter of 4 cm (pole limit), 7 cm (industrial wood limit) or 10 cm (sawn timber limit). The topped full tree offers the advantage that the central woodyard is not overloaded with small dimensions which reduce its capacity. An additional advantage is that shorter lengths make transport on roads with heavy traffic easier. An important ecological aspect is that the tops remain in the woods to enrich the soil and to be a potential seed source. The disadvantage of smaller biomass volume for utilization should be taken into account.

Table 18 (Grammel 1982) shows results in the utilization of Norway spruce (Picea abies) full trees. The traditional wood assortment is taken as a base = 100%.

Table 18. Biomass yield (%) with full tree processing topped at an average diameter of 5.2 cm.

| Dbh-cm | 5.0-9.9 cm | 10.0-14.9 cm | 15.0-19.9 cm | 20.0-24.9 cm |
|---|---|---|---|---|
| Log volume | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| Butt ends | 6.4 | 4.0 | 3.3 | 2.7 |
| Short ends | 1.7 | 1.1 | 0.5 | 0.4 |
| Sawdust | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.4 |
| Roundwood | 108.8 | 105.6 | 104.3 | 103.5 |
| Topped full tree | 135.3 | 127.4 | 127.6 | 121.3 |
| Full tree | 154.2 | 139.8 | 138.9 | 129.6 |

As trees increase in size the reduction in biomass yield (%) declines from around 19 percent for 5.0-9.9 cm trees down to 8 percent for 20-24.9 cm trees. Reduction is in percentage not in absolute terms. In a study of 232 truck loads of full trees, for each $m^3$ of end product there was a further 300 kg of needles, branches and bark (green weight averaging about 50 percent moisture content).

Wipperman presented a paper to the Joint Committee on Forest Working Techniques and Training of Forest Workers FAO/FCE/ILO in Turkey in May 1984. Its title was "Location and Methods of Primary Conversion in Central European Countries, A Sub-Regional Status Report for Central Europe" (Wipperman 1984). In it he stated that whole trees of spruce and pine destined for central conversion sites are usually topped at the felling site and transported in lengths up to 22 metres on public roads. Topping in the forest is done at a 5-6 cm minimum top diameter and the delimbing is carried out at the conversion site.

Transport of full trees is carried out over distances up to 70 km in truck-trailer units up to 22 metres in length. Driving is a one-man operation and the full trees are loaded by truck-mounted hydraulic cranes.

Figures 34 to 38 show a number of trailer designs produced by Emil Doll K-G, Baden, FDR. They illustrate different types of running gear but all have been designed on the same principle--a trailer body which is telescopic in length, with the movable section comprised of solid floor, walls and end. Trailers are adjustable in length to suit loads and can be varied by up to 7 metres.

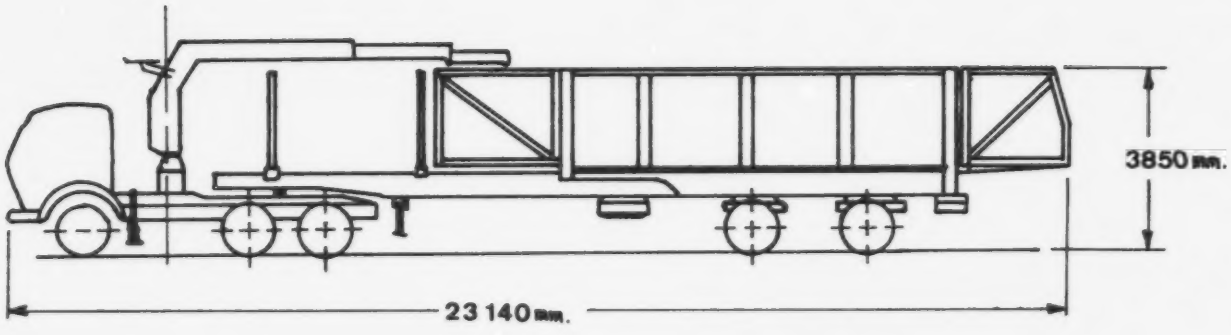



Figure 34. Doll trailer for the transport of unlimbed trees.

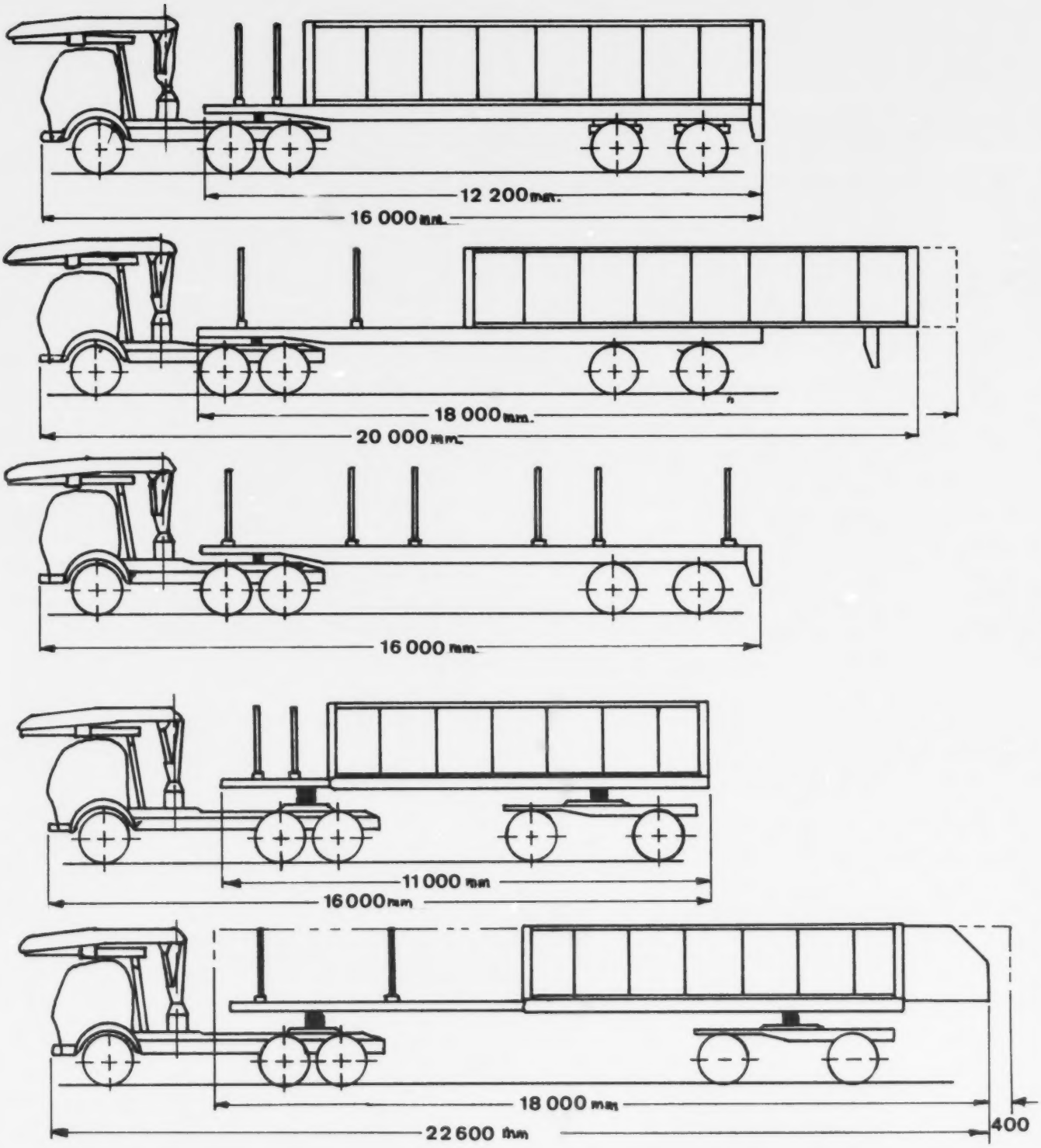
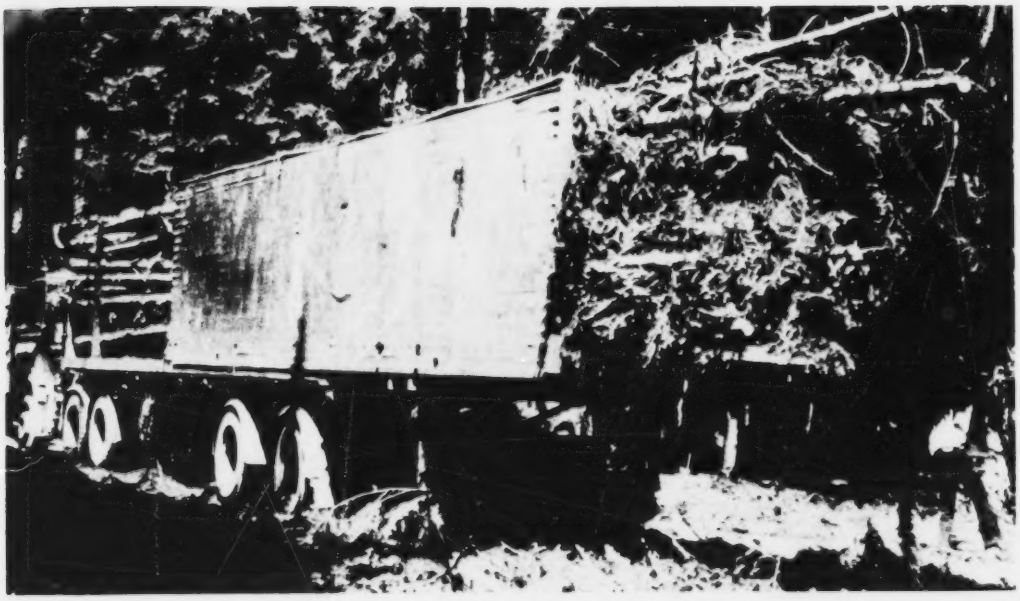



Figure 35. Doll trailers with telescopic bodies for transportation of unlimbed full trees. Stakes at front contain butt sections. Solid walls contain crown. In one trailer, body is removable for transport of tree lengths or logs.

Figure 36. (1) Full trees being unloaded at central conversion point.
(2) Truck and semi-trailer load of full trees.



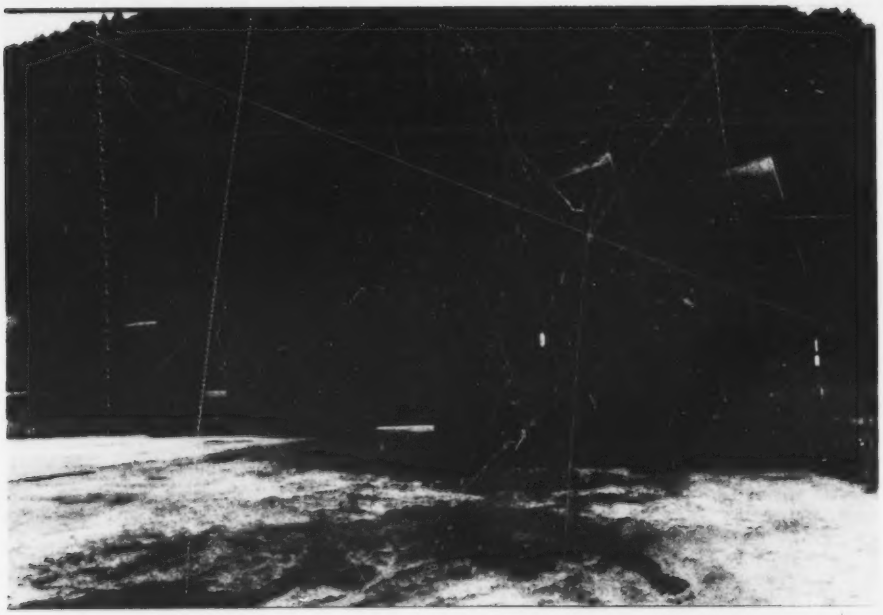


Figure 37. (1) Load of full trees on forest road. (2) Doll semi-trailer showing side stakes at front, solid sides and extendable wall and floor section at rear. Note automatic steering of rear bogie.

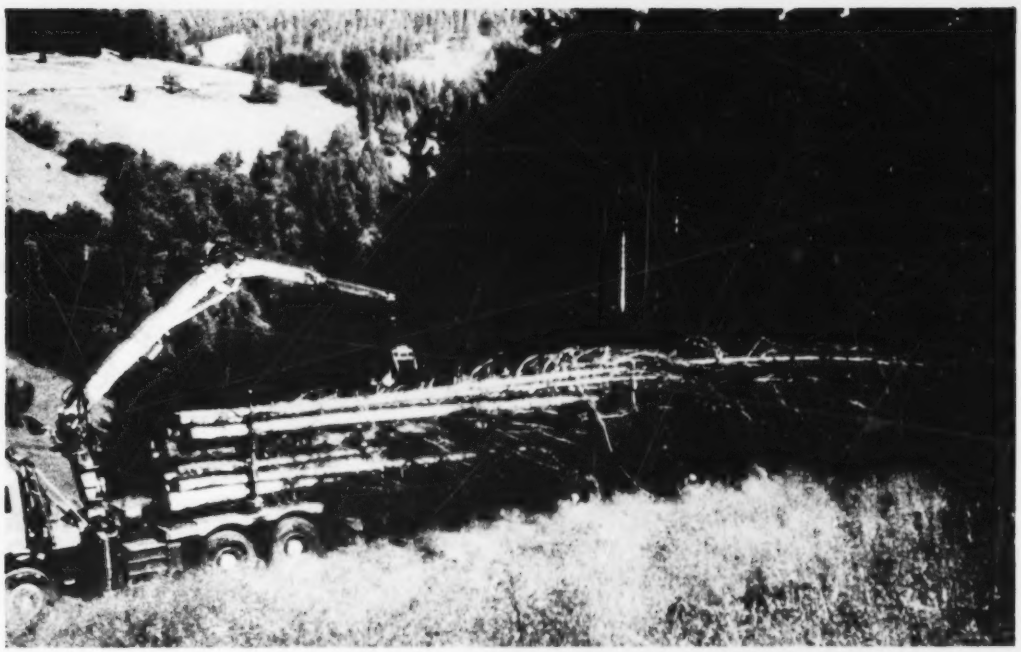


Figure 38. Trailer loads of full trees without sidewall constraints.

## UNITED STATES

As in Canada, in the United States hauling of full trees on an industrial scale has been on private roads with no legal constraints. There have been trials, hauling mainly plantation thinnings, on public roads but this mode of transport has not developed due in part to lack of off-the-shelf trailers but more perhaps to the inability to date to obtain capacity loads with available trailers.

Herman Brothers, Port Angeles, Washington are clear-felling second growth Douglas fir stands overstocked with poor trees (LIRA 1984). The haul was over a USFS logging road without public highway limitations. The trailers used had 4 bunks each 8 ft. wide and maximum tree length was 90 ft. It was found that loading full trees did not take longer than loading tree lengths. A week long test indicated that the full tree loads were approximately 6 percent below load capacity (1).

Weyerhaeuser Company in Plymouth, North Carolina in 1983 undertook experiments with the full-tree transport of loblolly pine thinnings 13-15 years old and 40-45 ft. long. They were unable to obtain the maximum legal load weights of 80,000 G.C.W. The trailer used is shown in Figure 39. (2) It was built by John Evans Mfg., Sumter, S.C. (3) It is of drop frame design with a low centre of gravity. It has mesh sides mounted on the rear third, to constrain the tree crowns. At present the company is using this type of trailer to transport partially delimbed trees which permit them to reach acceptable transport weights.

---

(1) Personal Communication. W.T. Herman, January 3, 1985.
(2) Personal Communication. M.S. Thompson, USFS, Houghton Mich., January 23, 1985.
(3) Personal Communication. Prof. W.F. Watson, Mississippi State University, Dec. 1983.

Figure 39. Full tree trailer used by Weyerhaeuser Company.

## DISCUSSION

The state of the art regarding the transport of full trees on public roads is not highly developed in Canada. European experience, more advanced than that in Canada, has been varied. In Scandinavia the trend is definitely to the production and transport of unlimbed tree sections which fits in with their shortwood production practice, while in Germany the transport of full trees has been carried out over a period of years because the uniformity of stem size has not required compaction to permit an economically dense load.

In Canada the dominant harvesting system has been tree length. Full tree harvesting is increasing rapidly due to the favourable economics of moving conversion operations from the stump area to the roadside and landing. The next step with increasing economic advantage is to move the conversion operations to the millyard area where the biomass, presently unmerchantable, can be used for energy.

The economic transport of full trees on public roads will be an essential element of this next step. The problem here is to develop apparatus and procedures that will result in acceptable payload to tare weight ratios for modified highway hauling equipment when full trees are the payload (Hamilton 1985).

## BIBLIOGRAPHY

Ager, Bengt H. son. 1971. Träd - och Kvisdata för utveckling av Kvistningsmaskiner. Manuskript till rapport från Skogshogskolans Institution för Skogsteknik.

Akre, B. 1984. Location and Methods of Primary Roundwood Conversion - a Sub-Regional Status Report for the Nordic Countries. ECE/FAO/ILO Joint Committee on Forest Working Techniques and Training of Forest Workers. Izmir-Cesme, Turkey.

Alexandersson, H., T. Carlsson and L. Rådström. 1984. Transportalternativ för energiråvaror. Skogsarbeten Redogörelse. ETT TFD-Projekt.

Brown, H.P., A.J. Panshin, C.C. Forsaith, 1952. Textbook of Wood Technology. The American Forestry Services. McGraw-Hill Book Co. Ltd., Toronto.

Carlsson, T. and L. Rådström. 1984. Compaction of the load presses down costs. Forest Energy in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences, Garpenberg, Sweden, June.

Carlsson, T. and M. Larsson. 1981. Komprimering av träddelar med Hydrovågs lastkomprimator - studies vid ASSI - Skinnskatteberg. Skogsarbeten, Stockholm, Sweden, May.

Carlsson, T., R. Hansen and Magnus Larsson. 1980. Lastbilstransport av stubbar, träd, träddelor och hyggesavall - Resultat av studies 1977-79. Skogsarbeten Redogörelse, ETT-TFD Projekt NR1, 1980.

Chinn, G.P. 1982. Road transport of tree lengths and full trees in Canada. IUFRO Division 3 Congress, Munich, FDR. June.

Conner, A.L. 1978. Utilization of whole tree chips in an unbleached kraft linerboard Mill. Complete Tree Utilization of Southern Pine, FPRS, New Orleans, LA.

Danielsson, Bengt. Olof. 1983. Harvesting and transportation of small whole trees in Sweden. ASAE 1983. Winter Meeting, Chicago, Illinois, December. Paper 83-1599.

Drolet, J.C., R.M. Newnham and T.B. Tsay. 1971. Branchiness of jack pine, black spruce and balsam fir in relation to mechanized delimbing. Canadian Forestry Service, Forest Management Institute, Ottawa, Ontario. Information Report FMR-X-34, June.

Dunfield, J.D., C.R. Silversides and T.B. Tsay. 1974. Engineering characteristics of trees - dimensions and weights of trees east of the Canadian Rocky Mountains. Canadian Forestry Service. Forest Management Institute Information Report FMR-X-60, April.

Fogh, Ivor. 1956. Production studies outline. Woodlands Dept., Canadian International Paper Company Ltd., Montreal, Canada, April.

Gislerud, O. 1976. Wood Chips, Production, Handling and Transport. FAO. Rome, Italy.

Grammel, R.H. 1982. Centralized tree processing and utilization of traditional logging waste. ECE/FAO/ILO Joint Committee on Forest Working Techniques in Training of Forest Workers, Seminar on Reducing Forest Biomass Losses in Logging Operations, Moscow, USSR, December.

Hakkila, Pentti. 1971. Coniferous branches as a raw material source. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 75.1, Helsinki.

Halyk, R.M. and E.R. Norris. 1979. The Role of material density in the evolution of forage harvesting systems. Transactions of ASAE. Vol. 15, No. 1, 1972.

Hamilton, D.D. 1985. Proposed apparatus for the Transport of Full Trees over Public Roads. Memo to FERIC March.

Häggblom, R. and V. Pennanen. 1983. Harvesting and truck transport of part trees from a clean cut stand. Metsäteho Report No. 380, Helsinki.

Jonsson, Yngve. 1982. Forest energy in Sweden during the eighties. Skogsarbeten Results, No. 1, 1982 (Paper Presented at the ASAE Winter Meeting, Chicago, Ill., Dec. 15-18, 1981).

Keen, R.E. 1963. Weights and centres of gravity involved in handling pulpwood trees. Pulp & Paper Research Institute of Canada Technical Report 340, Woodlands Research Index No. 147, November.

Kollman, F.F.P. and W.A. Cote. 1968. Principles of Wood Science and Technology I. Solid Wood. Springer-Verlag, New York, N.Y.

Lafond, André. 1960. Notes pour l'identification des types forestiers des concessions de la Quebec North Shore Paper Company, Baie Comeau, P.Q.

Larsson, M. and T. Carlsson. 1982. Trucking of logging residues and tree sections. Proceedings of Sixth International FPRS Industrial Wood Energy Forum, Washington, D.C.

Larsson, Magnus. 1980. Development of transportation systems for logging residues, stumps and trees in Sweden. Skogsarbeten Ekonomi. No 3E.

Lavoie, Jean Marc. 1980. The Transport of full trees from the stump to the mill woodyard. FERIC Technical Report TR-44, December.

LIRA. 1984. Newsletter of the Logging Industry Research Association Vol. 9 No. 5. Rotorua, New Zealand, April.

Mannisto, R.E. and A.D. Lovas, 1984. Report on the Whole Tree Winter Field Trial, December 1983. Internal Report, Kimberly-Clark of Canada Limited, Pulp and Forest Products Operations. February 7.

Metsäalan 1968 työehtosopimus ja sen mukaiset metsätyöpalkkojen taulukot. Palkkausalue 4. Helsinki.

Muraro, S.J. 1966. Lodgepole pine logging slash. Dept. of Forestry, Canada, Publication Number 1153.

Peltola, Hannu. 1976. Truck Transport of Whole tree raw material. Metsateho Report 340, Helsinki, Finland.

Routhier, Jean-Guy. 1982. Implications of full-tree harvesting for biomass recovery. Report LAU-X-50E, Canadian Forestry Service, Quebec City, P.Q.

Rudolph, P.O. 1956. Guide for Selecting Superior Forest Trees and Stands in the Lake States. Sta. Pap. 40. St. Paul MN, U.S.D.A. Forest Service Lake States Forest Experiment Station.

Sayn-Wittgenstein, L. 1978. Recognition of tree species on aerial photographs. Canadian Forestry Service. Forest Management Institute, Ottawa, Canada. Information Report FMR-X-118, November.

Schiess, P. and K. Yonaka. 1982. Evaluation of the whole tree baler and its potential for use in biomass plantations in the Pacific Northwest. College of Forest Resources, University of Washington, Seattle, WA.

Schiess, P. and K. Yonaka. 1983. Baling, a new concept in residue handling. Proceedings First Technical Conference on Timber Harvesting in the Central Rockies. Colorado State University, Fort Collins, Colorado, January.

Skaar, R. and O.J. Wefold. 1979. Veitransport ov Hele Traer og Heltreflis. Heltre 1975-1978 Sluttraport. Skogsbrukets og Skogindustrienes Fviskiningsräd (SSFR) January.

Spurr, Stephen. 1948. Aerial photographs in forestry. The Ronald Press Company, New York, N.Y.

Trimar Consulting Services Ltd. 1984. Operating costs of trucks in Canada - 1984. Transport Canada, Ottawa, September.

Vorobiev, I.V. 1963. The use of branching machines in the U.S.S.R. FAO European Forestry Commission Study Group on Forest Machine Development. Fourth Session. January 20-24 (English translation).

Wibstak, K. 1976. Long-distance hauling of whole trees and green chips. FAO/ECE/ILO Symposium on the Harvesting of a Larger Part of the Forest Biomass. Hyvinkää (Finland) June.

Wile, B.C. 1964. Crown size and stem diameter in red spruce and balsam fir. Dept. of Forestry, Canada. Publication Number 1056.

Wilson, B.F. 1970. The Growing Tree. University of Massachusetts Press, Amhurst, Mass.

Wipperman, H.J. 1984. Location and methods of primary conversion in Central European Countries - a Sub-Regional Status Report of Central Europe. FAO/ECE/ILO Joint Committee on Forest Working Techniques and Training of Forest Workers, 15th Session, Izmir-Cesme, Turkey, May.

Zundel, Pierre. 1984. Jack pine biomass field studies - final report. FERIC, Pointe Claire, P.Q., October.

Zsilinszky, Victor. 1966. Photographic interpretation of tree species in Ontario. Ontario Dept. of Lands and Forests. Toronto, Ontario.

FERIC

FOREST ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE OF CANADA
INSTITUT CANADIEN DE RECHERCHES EN GÉNIE FORESTIER

# Transport d'arbres entiers sur les routes publiques dans l'est du Canada: revue de la technologie de pointe

C.R. Silversides et R.L. Moodie

# Transport d'arbres entiers sur les routes publiques dans l'est du Canada: revue de la technologie de pointe

C.R. Silversides et R.L. Moodie

Rapport spécial N° RS-35

Projet ENFOR P-312

Juin 1986

© Copyright 1986, Institut Canadien de recherches en génie forestier

ISSN 0706-8468

Contrat DSS N° OSS84-00185
Dossier DSS 55SS.KH405-4-0170

Contractant:

Institut canadien de recherches en génie forestier
143, Place Frontenac
Pointe-Claire (Québec)
H9R 4Z7
Tél: (514) 694-1140

Autorité scientifique:

M. Brad Sutherland
Centre de recherches forestières des Grands-Lacs, SCF
Case postale 490,
Sault-Ste-Marie, Ontario
P6A 5M7
Tél: (705) 949-9461

Agent des marchés scientifiques:

M. R.N. Finlayson
Direction des sciences et des services professionnels, MAS
12C1 Place du Portage
11, rue Laurier
Hull (Québec)
K1A 0S5
Tél: (819) 997-7349

Ce rapport est disponible aux endroits suivants:

Institut canadien de recherches
en génie forestier
143, Place Frontenac
Pointe-Claire (Québec)
H9R 4Z7

Secrétariat ENFOR
Service canadien des forêts
Ottawa, Ontario
K1A 0E7

This report is also available in English.

Le problème: Comment transporter de telles charges sur des routes publiques?

## AVANT-PROPOS

Au Canada, les industries forestières constituent le principal utilisateur de la biomasse forestière à des fins énergétiques. Elles brûlent à elles seules près de 68% de la consommation totale de cette biomasse, les 32% qui restent servant au chauffage domestique.

L'utilisation de la biomasse pour produire de l'énergie est considérée comme exclusive aux industries forestières et ne dépend donc pas des tendances ou des prix du marché. Par conséquent, on peut envisager que l'industrie forestière devienne davantage auto-suffisante en matière d'énergie, en utilisant une proportion encore plus importante de biomasse. Le transport économique d'arbres entiers aux usines consommatrices favorisera cette éventualité.

Le programme ENFOR (Énergie de la Forêt), mis sur pied par le gouvernement canadien, a apporté son appui financier au présent projet, qui a pour but d'étudier quelle serait la meilleure façon de transporter la biomasse forestière sur les routes publiques jusqu'aux usines consommatrices, en même temps que le bois marchand traditionnel.

## RÉSUMÉ

Les arbres entiers constituent une charge qui se caractérise par son manque d'uniformité dans les dimensions, dans le poids et dans la forme. Étant donné leur longueur, ces arbres peuvent avoir des gros bouts lourds, mais libres de branches, des sections centrales volumineuses et touffues avec des branches plus ou moins souples et un tronc dont le défilement atteint une fraction de son diamètre au pied. Leur poids se distribue donc de fçon très inégale à la fois longitudinalement et latéralement, et ils ont à cause des branches une faible densité en vrac.

Le transport d'arbres entiers s'est fait avec succès et de façon économique au Canada avec des camions hors-route circulant sur des chemins privés, là où ne s'applique aucune restriction de dimensions ni de poids. Ils ont été transportés avec succès sur les routes publiques d'Allemagne au cours des six dernières années. Des essais en Finlande, en Norvège et au Danemark n'ont rencontré qu'un succès mitigé et ont été abandonnés. Le transport de sections d'arbres, c'est-à-dire d'arbres non ébranchés coupés selon une longueur maximale prédéterminée, connait d'importants développements en Suède et en Finlande. Les sections d'arbres ont une plus grande densité en vrac et permettent une meilleure distribution de la charge que ne le font les arbres entiers. Ils demandent toutefois plus de travail en forêt.

Aux États-Unis, les arbres entiers sont transportés sur les routes privées. Les produits d'éclaircie provenant de plantations forestières dans le sud des États-Unis ont été transportés avec succès sur les routes publiques, dans des remorques spécialement conçues à cet effet.

# TABLE DES MATIÈRES


| | Page |
|---|---|
| **AVANT-PROPOS** | ii |
| **RÉSUMÉ** | ii |
| **TABLE DES MATIÈRES** | iii |
| **LISTE DES FIGURES** | v |
| **LISTE DES TABLEAUX** | viii |
| **INTRODUCTION** | 1 |
| **LA CHARGE** | 2 |
| Description générale des essences | 2 |
| Clef des conifères de l'est | 4 |
| Diamètre de la cime | 5 |
| Longueur de la cime | 7 |
| Port des branches | 9 |
| Distribution | 9 |
| Orientation | 11 |
| Forme | 12 |
| Dimensions (diamètre et longueur) | 13 |
| Longueur des arbres | 15 |
| Poids des arbres | 21 |
| Présence de matières étrangères | 26 |
| Densité en vrac de la charge | 27 |
| Sections d'arbres | 32 |
| **CANADA** | 32 |
| Règlements relatifs à la circulation routière | 33 |
| Charges possibles sur les voies publiques | 35 |
| Coûts de transport | 39 |
| **SUÈDE** | 39 |
| Hydrovåg AB | 42 |
| Presse Tracobi | 42 |
| Exte Comp | 43 |
| Iggesunds Bruk AB | 45 |
| Dispositifs non intégrés de compactage | 45 |
| A-Trans | 47 |

TABLE DES MATIÈRES (suite)


| | Page |
|---|---|
| NORVÈGE | 48 |
| DANEMARK | 50 |
| FINLANDE | 50 |
| ALLEMAGNE | 52 |
| ÉTATS-UNIS | 58 |
| DISCUSSION | 59 |
| BIBLIOGRAPHIE | 60 |

## LISTE DES FIGURES


| | | Page |
|---|---|---|
| Figure 1: | Profil et vue en plan des cimes de quelques essences, illustrant la variation entre elles. | 5 |
| Figure 2: | Relation entre le diamètre à la souche en mm et le diamètre de la cime en mètres. | 6 |
| Figure 3: | Classification de la longueur des cimes. | 7 |
| Figure 4: | Longueur de la cime, épinette noire. | 8 |
| Figure 5: | Distribution des branches autour de la tige, en nombre par pied linéaire ou en superficie de la base des branches. La distance entre deux cercles concentriques représente une branche ou un pouce carré de superficie de base des branches. | 10 |
| Figure 6: | Distribution des branches selon l'angle formé avec l'arbre en pourcentage. | 11 |
| Figure 7: | Dimensions relatives des branches, épinette noire et pin gris. | 13 |
| Figure 8: | Diamètre de la plus grosse branche, et sa longueur en fonction du diamètre à hauteur de souche. | 13 |
| Figure 9: | Diamètre de la plus grosse branche, et sa longueur en fonction du diamètre à hauteur de souche. | 14 |
| Figure 10: | Longueur moyenne totale des arbres par classe de diamètre à la souche, pour l'épinette et le sapin baumier dans l'est du Canada. | 16 |
| Figure 11: | Longueur totale des arbres par classe de diamètre à la souche, pour l'épinette, le sapin baumier et le pin gris en Ontario. | 17 |
| Figure 12: | Variation de la longueur totale des arbres, par classe de diamètre à la souche, pour l'épinette et le sapin baumier au Québec. | 17 |
| Figure 13: | Longueur marchande et longueur totale moyennes pour l'épinette et le sapin baumier dans le nord-est du Nouveau-Brunswick. | 18 |
| Figure 14: | Longueur totale des arbres par classe de diamètre à la souche pour les résineux et le peuplier faux-tremble en Saskatchewan. | 18 |
| Figure 15: | Total cumulatif (%) des conifères par classe de longueur. | 19 |
| Figure 16: | Poids des diverses parties de l'arbre, épinettes, sapin baumier et pin gris combinés. | 24 |
| Figure 17: | Poids moyen des arbres entiers en $kg/m^3$, épinettes, sapin baumier et pin gris. | 24 |

## LISTE DES FIGURES (suite)


| | | Page |
|---|---|---|
| Figure 18: | Poids vert maximum des arbres entiers, épinettes, sapin baumier et pin gris. | 25 |
| Figure 19: | Poids vert des arbres entiers en fonction du volume marchand, épinettes, sapin baumier et pin gris. | 25 |
| Figure 20: | Emplacement du centre de gravité des arbres entiers en fonction de leur longueur. | 26 |
| Figure 21: | Données provenant de trois pays, montrant les résultats d'études sur le compactage de petits arbres, soit en arbres entiers, soit en sections d'arbres. | 30 |
| Figure 22: | Conteneur amovible avec piston baladeur pour le compactage du coton, du maïs-fourrage, des émondes d'arbres fruitiers, montrant le piston hydraulique utilisé pour augmenter la densité en vrac. | 31 |
| Figure 23: | Longueur totale cumulative des arbres entiers (tirée de la figure 15) en fonction de la longueur de la remorque. | 37 |
| Figure 24: | Compacteur Hydrovåg: | 41 |
| Figure 25: | Camion et remorque équipés de la presse Tracobi. | 43 |
| Figure 26: | Exte Comp. | 44 |
| Figure 27: | Équipement conçu par Iggesunds Bruk AB en vue d'essais de compactage. | 45 |
| Figure 28: | Dispositif non intégré de compactage (Evert). | 46 |
| Figure 29: | A-Trans. | 47 |
| Figure 30: | (1) Ensemble routier camion-remorque pour arbres entiers ou arbres écimés ne dépassant pas 14 mètres de longueur. Les montants latéraux ont 2,5 m de hauteur et les parois sont construites en aluminium. (2) Ensemble routier camion-remorque pour le transport de sections d'arbres de 6 mètres de longueur. | 49 |
| Figure 31: | Équipement conçu au Danemark pour le compactage d'arbres entiers. | 50 |
| Figure 32: | Transport d'arbres entiers à titre expérimental par Ahlström OY, Varkaus, Finlande au moyen d'une remorque allemande Doll. | 51 |
| Figure 33: | La charge est compactée par la grue qui tire sur le câble. Le câble est attaché d'un côté du camion ou du bâti de la remorque, il passe par-dessus la charge, à travers une poulie attachée au camion ou au bâti de la remorque et il est repris par la grue. | 51 |

## LISTE DES FIGURES (suite)


| | | Page |
|---|---|---|
| Figure 34: | Remorque Doll pour le transport d'arbres non ébranchés. | 53 |
| Figure 35: | Remorques Doll à benne télescopique pour le transport d'arbres entiers non ébranchés. Les montants à l'avant retiennent les sections de pied des arbres. Les parois pleines retiennent les cimes. Dans l'une des remorques, la benne est amovible pour le transport de troncs entiers ou de grumes. | 54 |
| Figure 36: | (1) Arbres entiers déchargés dans un parc central de façonnage.<br>(2) Camion et semi-remorque chargés d'arbres entiers. | 55 |
| Figure 37: | (1) Charge d'arbres entiers sur un chemin forestier.<br>(2) Semi-remorque Doll montrant les montants latéraux à l'avant, les parois pleines et les parois et le plancher extensibles à l'arrière. Remarquer le pivotement automatique du pont arrière. | 56 |
| Figure 38: | Remorques sans parois latérales, chargées d'arbres entiers. | 57 |
| Figure 39: | Remorque d'arbres entiers utilisée par la compagnie Weyerhaeuser. | 59 |

## LISTE DES TABLEAUX


| | | Page |
|---|---|---|
| Tableau 1: | Sommaire des statistiques obtenues pour les arbres échantillonnés. | 9 |
| Tableau 2: | Totaux cumulatifs (%) des conifères par classe de longueur. | 20 |
| Tableau 3: | Longueur de la remorque en vue du transport de 95% des longueurs prévues d'arbres entiers. | 21 |
| Tableau 4: | Taux global de récupération de la biomasse, épinette noire et sapin baumier, en fonction du système de récolte et de la saison. | 22 |
| Tableau 5: | Facteurs de récupération de la biomasse. | 23 |
| Tableau 6: | Variation de la densité en vrac du fourrage, à la suite de divers traitements. | 27 |
| Tableau 7: | Pourcentage du volume solide et densité en vrac pour diverses teneurs en humidité. Il s'agit de valeurs moyennes provenant de plusieurs études de camionnage effectuées par Skogsarbeten. | 28 |
| Tableau 8: | Facteurs affectant la densité en vrac de la charge, selon sa nature. | 29 |
| Tableau 9: | Règlements provinciaux régissant les dimensions et les poids des ensembles camion-remorque sur les voies publiques. | 34 |
| Tableau 10: | Capacité des remorques en volume. | 35 |
| Tableau 11: | Densités moyennes en vrac nécessaires pour rencontrer les limites maximales de charges. | 36 |
| Tableau 12: | Données sur les charges d'arbres entiers. | 38 |
| Tableau 13: | Coûts estimés pour le transport d'arbres entiers sur voies publiques - t/km. | 38 |
| Tableau 14: | Volumes manutentionés dans les parcs de façonnage en Suède (millions de $m^3$ solides, sur écorce). | 39 |
| Tableau 15: | Densités en vrac de la charge atteintes grâce au système Hydrovåg. | 42 |
| Tableau 16: | Densités en vrac à l'état vert calculées à partir d'essais du compacteur Evert. | 47 |
| Tableau 17: | Utilisation de la capacité de charge pour divers ensembles routiers en Norvège. | 48 |
| Tableau 18: | Rendement de biomasse (%) lors du façonnage d'arbres entiers écimés à un diamètre moyen de 5,2 cm. | 52 |

# INTRODUCTION

On constate dans l'est du Canada un intérêt croissant pour l'utilisation d'une plus grande partie de la forêt, sinon pour accroitre l'approvisionnement de produits marchands, du moins comme source d'énergie en vue de remplacer les carburants dérivés du pétrole. Dans certaines régions, où les conditions le permettent, de grosses charges d'arbres entiers sont transportées sur des chemins privés, par des ensembles camion-remorque non standard.

La rentabilité économique de la récolte et du transport des arbres entiers est graduellement reconnue dans les cas où il est possible d'utiliser l'écorce, les branches et les houppiers. Compte tenu des restrictions que posent les règlements relatifs à la circulation routière, sur la largeur, la longueur, la hauteur et le poids, on a fait jusqu'à maintenant peu d'efforts pour transporter les arbres entiers sur les routes publiques. Le problème consiste 1) à obtenir une charge utile économique et 2) à pouvoir constituer une charge conforme aux normes de circulation sur les voies publiques.

Le présent rapport traite des différentes caractéristiques de la charge (arbres entiers), analyse la situation en regard de la capacité de charge économique, estime les coûts de transport dans les conditions rencontrées au Canada et décrit les développements intervenus en Suède, en Norvège, en Finlande, au Danemark, en Allemagne et aux États-Unis.

## LA CHARGE

Le produit à transporter est constitué d'arbres entiers d'essences diverses, principalement des conifères, auxquels s'ajoutent parfois les arbres feuillus que l'on rencontre couramment dans la forêt boréale canadienne, c'est-à-dire les peupliers et le bouleau à papier.

De par leur nature même, les arbres entiers sont un produit difficile à transporter. Étant donné leur longueur, ces arbres peuvent avoir des gros bouts lourds, mais libres de branches, des sections centrales volumineuses et touffues avec des branches plus ou moins souples et un tronc dont le défilement atteint une fraction de son diamètre au pied. La cime est habituellement asymétrique et peu encline à rouler. Les branches sont souvent entrelacées. Le fût central est parfois rectiligne et uniforme, bien que son diamètre aille en décroissant, mais il peut aussi présenter des courbures ou des déformations. Ces propriétés font des arbres entiers une charge qui se caractérise par son manque d'uniformité, étant donné la mauvaise distribution de poids et de volume autant longitudinalement que latéralement, ainsi que la faible densité en vrac résultant de la présence de branches.

### Description générale des essences

Une description générale des arbres correspondant aux diverses essences aidera à comprendre les problèmes qu'implique le transport de chacune d'elles. Quand c'est nécessaire, nous avons converti du système anglais au système international (SI) les unités de mesure trouvées dans la documentation traitant des caractéristiques physiques des arbres.

Les paragraphes suivants sont tirés d'un document intitulé "Recognition of Tree Species on Aerial Photographs" (Sayn-Wittgenstein, 1978).

**Pin blanc** (Pinus strobus L.)

Le pin blanc présente un tronc droit, non fourchu, et une cime formée de branches largement déployées, soit horizontales, soit redressées aux extrémités. Les branches supérieures sont parfois fortement courbées vers le haut donnant plus ou moins à la silhouette de l'arbre la forme d'une coupe. Les grosses branches sont très proéminentes et, en vue aérienne, confèrent à la cime la forme irrégulière d'une étoile. En peuplement dense, les arbres sont souvent dépourvus de branches jusqu'aux deux tiers de leur longueur.

**Pin rouge** (Pinus resinosa Ait.)

Le pin rouge possède un tronc droit, non fourchu, habituellement dépourvu de branches jusqu'à au moins la moitié de sa hauteur. Sa cime est ovale, peu dense et formée de branches étalées, verticillées. Elle a un contour arrondi, d'où ne ressort le plus souvent aucune branche plus importante. Les branches s'étalent horizontalement ou sont légèrement retombantes avec un feuillage en touffes vers les extrémités.

**Pin gris** (Pinus banksiana Lamb.)

En peuplement dense, le pin gris présente une petite cime étroite et claire, formée de plusieurs branches courtes, tordues, et limitées à la partie supérieure de l'arbre, parfois moins d'un cinquième de sa longueur. Le sommet est généralement en pointe. Quand l'arbre est isolé, la forme de la cime est variable, avec une tendance plus arrondie, mais irrégulière.

**Pin lodgepole** (Pinus contorta Dougl.)

Le pin lodgepole a une forme qui se rapproche beaucoup de celle du pin gris. Son habitat chevauche celui du pin gris, principalement en Alberta. De nombreux hybrides entre les deux essences ne peuvent être différenciés ni par le port des branches ni par la forme de la cime. Il existe deux variétés de pin lodgepole: un arbre de petite taille et rabougri qui pousse dans une aire relativement étroite le long de la côte de la Colombie-Britannique; et un arbre élevé, droit et élancé, forme que l'on rencontre à l'intérieur des terres. Cette dernière variété présente une cime courte et étroite. Les branches sont disposées régulièrement et portent leur feuillage surtout aux extrémités.

**Mélèze laricin** (Larix laricina (Du Roi) K. Koch)

La mélèze laricin ou tamarac possède un tronc droit et une cime conique, étroite, symétrique et claire. La cime est habituellement plus large que celle de l'épinette noire. Les branches sont légèrement ascendantes.

**Épinette blanche** (Picea glauca (Moench) Voss)

L'épinette blanche a un tronc droit, non fourchu. Les branches sont longues et fournies. La cime est dense et symétrique et les branches peuvent même traîner jusqu'au sol si l'arbre est isolé. C'est un arbre qui supporte bien l'ombre et conserve généralement ses branches sur la partie basse du tronc, mais il peut les perdre graduellement jusqu'à mi-hauteur en peuplement dense. Ses branches étant plus robustes, la cime de l'épinette blanche est plus irrégulière que celle du sapin baumier. Cette épinette peut atteindre une taille plus grande que celle de l'épinette noire et ses branches se caractérisent par leur large courbure ascendante.

**Épinette noire** (Picea mariana (Mill) B.S.P.)

L'épinette noire est habituellement un arbre de petite taille qui atteint environ 15 mètres de hauteur. Son tronc est généralement droit et élancé et il possède une cime étroite, presque cylindrique, formée de branches retombantes aux extrémités redressées. Une touffe compacte de petites branches se forme fréquemment au sommet de la cime.

**Sapin baumier** (Abies balsamea (L.) Mill.)

Le sapin baumier a une cime conique très étroite, formée de branches grêles qui peuvent descendre presque jusqu'au sol si l'arbre est isolé. Son extrémité dense et rigide se termine en flèche allongée. Légèrement décroissant, le tronc est habituellement recouvert, au-dessus de la cime, de branches mortes qui peuvent persister pendant de longues années.

**Peuplier faux-tremble** (Populus tremuloides Michx.)

Le peuplier faux-tremble a un tronc unique, décroissant graduellement, qui se rend presque jusqu'au sommet de la cime. Relativement formée de peu de branches, la cime est courte et claire, au sommet arrondi. Le tronc est dégarni de branches et lisse sur la plus grande partie de sa longueur.

**Peuplier baumier** (Populus balsamifera L.)

Le peuplier baumier a un tronc droit habituellement non fourchu et une cime conique, étroite et claire, formée de quelques grosses branches ascendantes. Les branches sont plutôt droites, et sont plus longues que celles du peuplier faux-tremble de même taille. Le sommet est généralement pointu, sauf pour les arbres très vieux.

**Bouleau à papier** (Betula papyrifera Marsh.)

Les jeunes arbres ont une petite cime conique, alors que les arbres plus vieux ont une cime plus arrondie et irrégulière. Le tronc est souvent fourchu et se sépare en plusieurs grosses branches ascendantes. La cime est habituellement composée de plusieurs branches ascendantes qui se terminent en bouquets de fins rameaux.

## Clef des conifères de l'est

Sayn-Wittgenstein donne dans le même rapport une clef des conifères et des arbres feuillus de l'est, basée sur la forme de la cime et les caractéristiques des branches. Elle présente un certain intérêt, car les caractéristiques utilisées sont celles qui déterminent pour une bonne part la densité en vrac et les dimensions d'une charge de troncs entiers sur une remorque.

1. Cime petite, ou nettement conique si elle est plus grosse.

    1. Cime fortement conique, habituellement à sommet arrondi sans branches proéminentes .....cèdre
    2. Cime à sommet en pointe, ou branches robustes, ou les deux.

        1. Cime étroite, souvent cylindrique; arbres qui poussent fréquemment dans des tourbières; le feuillage et les cônes peuvent former une touffe dense au sommet ..... .....épinette noire de tourbière
        2. Cime conique, à feuillage caduque .....mélèze laricin
        3. Cime conique étroite, très symétrique; les branches pointues du sommet sont moins proéminentes que celles de l'épinette blanche .....sapin baumier
        4. Cime conique, branches (surtout chez les arbres à maturité) plus proéminentes que chez le sapin baumier .....épinette blanche et épinette noire (sauf épinette de tourbière)
        5. Cime irrégulière, avec sommet en pointe, feuillage plus clair et apparence plus régulière que l'épinette et le sapin baumier ... .....pin gris

2. Cime importante, déployée ou arrondie, ne formant pas un cône étroit, sommet souvent mal défini.

    1. Cime très dense, irrégulière ou formant un large cône.

        1. Branches individuelles très proéminentes, cime habituellement irrégulière .....pin blanc
        2. Branches individuelles rarement très proéminentes, cime habituellement conique, devenant irrégulière avec l'âge ..... .....pruche

    2. Cime claire, ovale (circulaire en vue aérienne) .....pin rouge

On trouvera à la figure 1 une illustration de la silhouette de quelques cimes d'arbres (Zsilinszky, 1966).

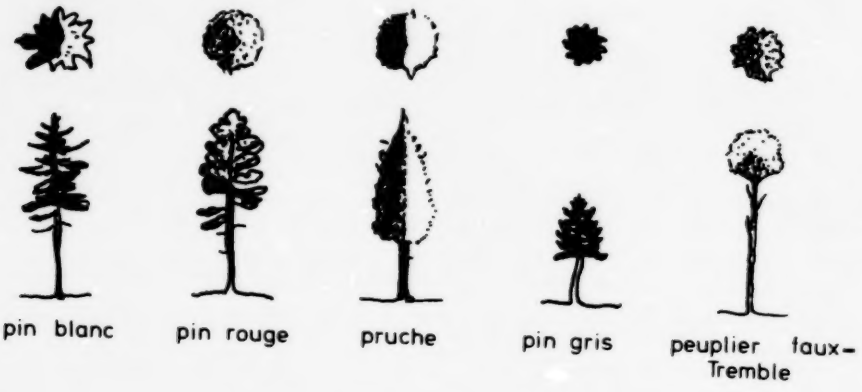



Figure 1. Profil et vue en plan des cimes de quelques essences, illustrant la variation entre elles.

## Diamètre de la cime

Les textes et les articles qui traitent de l'interprétation des photographies aériennes et de la préparation de tarifs de cubage photogrammétriques donnent les relations qui existent entre le diamètre du tronc d'un arbre et le diamètre de sa cime. Plusieurs études indépendantes l'une de l'autre ont montré qu'il existe une corrélation directe entre le diamètre du tronc à hauteur de poitrine (dhp) et le diamètre de la cime. Dans la plupart des cas, la relation est pratiquement linéaire (figure 2). D'après une méthode empirique suggérée par Spurr, le diamètre de la cime d'un arbre égale environ 16 fois le diamètre du tronc (Spurr, 1948). ainsi un arbre qui a 7 pouces (180 mm) de diamètre au dhp aurait une cime de 7 x 16 = 112 pouces = 9.3 pi (2,9 mètres) de diamètre.

Une analyse a indiqué que les diamètres des cimes varient de 16,75 à 13,50 fois le diamètre du tronc à hauteur de poitrine, le rapport décroissant avec l'augmentation dans le diamètre des tiges. Établi à partir d'un vaste échantillonnage, un diamètre de cime égal à 15 fois le diamètre de la tige à hauteur de poitrine, ou à 12 fois le diamètre à la souche, devrait être suffisamment précis aux fins de conception d'équipement.

Une étude effectuée au Nouveau-Brunswick (Wile, 1964) a établi que pour l'épinette rouge et le sapin baumier le diamètre de la cime en pieds est approximativement égal au diamètre du tronc à hauteur de poitrine en pouces, plus une constante qui varie selon l'essence, soit D + 2 pour l'épinette rouge et D + 0.5 pour le sapin baumier. Une épinette de 7 pouces (180 mm) au dhp aurait donc une cime de 7 + 2 = 9 pi (2,7 mètres) de diamètre et un sapin baumier, de 7 + 0.5 = 7.5 pi (2,3 mètres). Ces résultats correspondent à la ligne tracée à la figure 2, à 15 à 50 cm près.

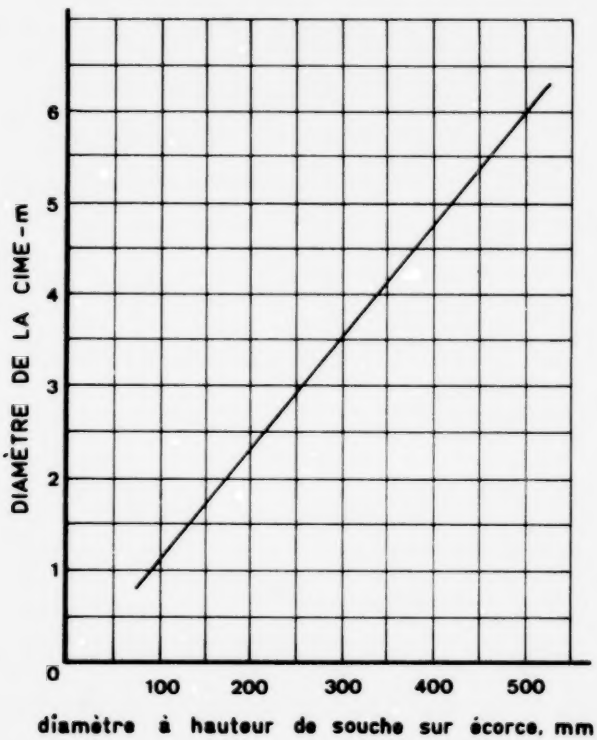



Figure 2. Relation entre le diamètre à la souche en mm et le diamètre de la cime en mètres.

## Longueur de la cime

Une relation a été établie entre la longueur de la cime et le diamètre du tronc (Wile, 1964), de même que la densité du peuplement. Quand les arbres sont abattus et ébranchés à l'aide d'une scie à chaîne, la longueur de la cime ou la branchéité constitue un facteur très important à cause de son effet sur la productivité par jour-homme. Des classes de branchéité ont été définies en vue de permettre d'estimer la difficulté de l'ébranchage au moment d'établir les taux de salaire à la pièce (Fogh, 1956).

Classe I - Les meilleurs peuplements de pins et de feuillus. La proportion de cime est inférieure à 20%. Les branches sont grêles et peu résistantes. Il y a peu de branches mortes sous la cime vivante.

Classe II - Peuplements de pins et de feuillus modérément denses et les meilleurs peuplements d'épinettes. La proportion de cime est de 20 à 30%. Les branches sont plutôt grêles et peu résistantes.

Classe III - Peuplements de pins et de feuillus au moins de densité moyenne et peuplements denses d'épinettes. La proportion de cime varie de 30 à 50%. Les branches mortes sous la cime vivante ne sont ni épaisses ni dures.

Classe IV - Peuplements de pins et de feuillus où les arbres ont poussé largement espacés et peuplements d'épinettes de densité moyenne. La proportion de cime est de 50 à 75%. Les branches sont nombreuses et épaisses. Les branches mortes sous la cime sont épaisses et dures.

Classe V - Peuplements d'épinettes ayant poussé à découvert. La proportion de cime est supérieure à 75%. Les branches sont nombreuses, épaisses et résistantes.

La classification de Fogh peut servir à évaluer les peuplements et à établir la branchéité des arbres à transporter (figure 3). Une classification semblable a été mise au point en Finlande lors de la préparation d'échelles de salaires des ouvriers forestiers, pour la production de bois à pâte (Metsäalan, 1986).

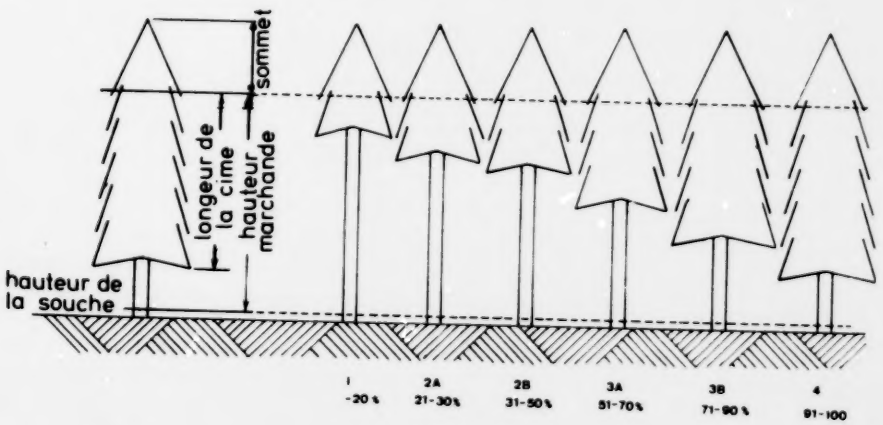



Figure 3. Classification de la longueur des cimes.

La longueur de la cime dépend largement du degré de tolérance de l'essence. Dans des peuplements denses de pin gris, ce dernier étant une essence relativement intolérante, les branches inférieures mourront et tomberont d'elles-mêmes jusqu'à ce que les arbres présentent l'aspect de la classe 1, dans la figure 3. Par contre, dans des peuplements comparables d'épinette et de sapin baumier, les arbres pourront ressembler à ceux des classes 3a ou 3b.

La figure 4 est tirée d'une étude effectuée par la compagnie de papier Q.N.S. Limitée de Baie-Comeau (Québec). L'échantillon provenait d'un peuplement sapin-épinette noire, sur un site Hylocomium-cornus, de qualité II (Lafond, 1960)*. Les peuplements variaient entre 19 et 45 $m^3$/ha. La figure montre clairement la structure caractéristique de la cime dans des peuplements de ce genre, peuplements que l'on rencontre couramment dans l'est du Canada. Pour un arbre de dimensions moyennes dont le diamètre à la souche est de 240 mm, 6,5 mètres de fût se trouvent libres de branches ou garnis de quelques branches mortes, la cime vivante a 11,5 mètres de longueur et la hauteur totale de l'arbre est de 18 mètres.

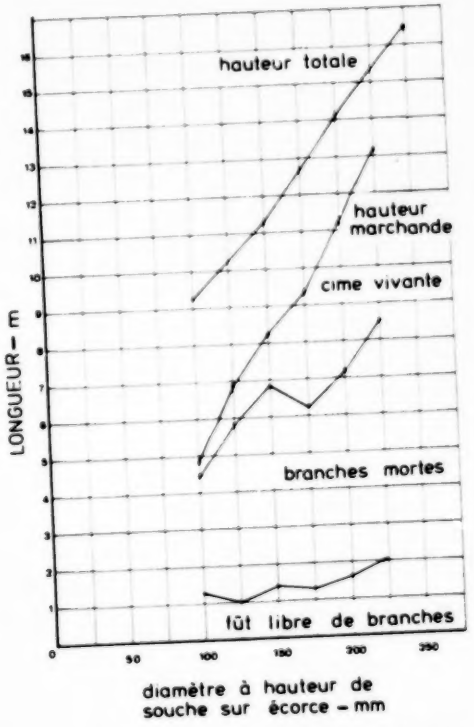



Figure 4. Longueur de la cime, épinette noire.

---

* Guilbert, Marcel, 9 janvier 1964. Lettre personnele à D.C. Horncastle.

## Port des branches

Le port des branches dépend de leur distribution, de leur orientation et de leur forme. La distribution est le mode de répartition des branches le long de la tige; l'orientation se rapporte à l'angle que la branche forme avec le tronc principal et la forme indique si une branche est droite, courbée ou fourchue.

### Distribution

Le mode initial de répartition des branches le long de la tige est propre à l'espèce ou au genre. Chez les pins par exemple, l'accroissement annuel en hauteur est marqué par des groupes de branches ou verticilles. Dans le cas de l'épinette, les verticilles sont beaucoup moins évidents et les branches semblent placées en spirale autour du tronc.

"Il est bien reconnu que les branches vivantes d'un arbre ne sont pas distribuées uniformément le long de la tige. Cela est particulièrement remarquable chez plusieurs essences résineuses où les branches sont concentrées sur un même plan autour de la tige pour former les verticilles, l'espace entre les verticilles restant libre de branches, ou ne portant que quelques petites branches. Étant donné le mode de répartition des branches le long de la tige, il est difficile d'obtenir une image de distribution "moyenne" qui soit réaliste. La situation se complique encore par le fait que les tiges sont souvent libres de branches jusqu'à des hauteurs différentes au-dessus du niveau du sol" (Drolet et coll., 1971). Cette même étude a établi qu'il existe un diminution marquée dans le nombre moyen de branches vivantes par pied linéaire de tige, à mesure qu'augmente la distance au-dessous de la hauteur marchande. Le tableau 1 donne le sommaire des statistiques obtenues pour les arbres étudiés.

Tableau 1. Sommaire des statistiques obtenues pour les arbres échantillonnés (Drolet et coll., 1971)

| Variable | Pin gris (moyenne avec écart-type) | Épinette noire (moyenne avec écart-type) | Sapin baumier (moyenne avec écart-type) |
|---|---|---|---|
| dhp-pouces | 7.4 ± 1.7 | 6.8 ± 1.6 | 7.5 ± 1.9 |
| hauteur-pieds | 56.8 ± 10.0 | 51.7 ± 9.1 | 53.2 ± 8.1 |
| largeur de la cime-pieds | 10.3 ± 3.4 | 8.0 ± 2.7 | 13.2 ± 4.4 |
| âge-années | 71.2 ± 26.1 | 119.2 ± 25.0 | 105.1 ± 17.3 |
| longueur de la cime-pieds | 20.3 ± 6.3 | 24.7 ± 9.8 | 26.3 ± 9.6 |
| volume marchand-pi$^3$ | 9.0 ± 5.3 | 6.6 ± 5.1 | 7.6 ± 4.8 |
| superficie de la base des branches-po$^2$ | 13.4 ± 16.2 | 12.4 ± 17.4 | 19.8 ± 22.5 |
| nombre de branches | 11.0 ± 10.1 | 21.4 ± 23.8 | 25.1 ± 21.3 |
| hauteur marchande-pieds | 44.5 ± 11.4 | 38.1 ± 10.2 | 39.5 ± 8.4 |
| nombre d'arbres échantillonnés | 229 | 262 | 50 |

Nous avons vu que la distribution des branches autour d'un arbre est très irrégulière. En divisant les arbres longitudinalement en quadrants, on a trouvé que chez le pin gris, 50% des branches étaient dans un même quadrant, alors que le chiffre correspondant pour l'épinette noire et le sapin baumier était de 40%. Le quadrant opposé ne contenait que la moitié ou le tiers autant de branches. Cette caractéristique est bien illustrée à la figure 5 qui montre la distribution des branches autour de la tige.

Lors de la préparation d'une charge d'arbres entiers, cette irrégularité dans la distribution des branches devrait permettre de tasser les arbres plus serrés les uns contre les autres, que si les branches étaient réparties uniformément autour de la tige.

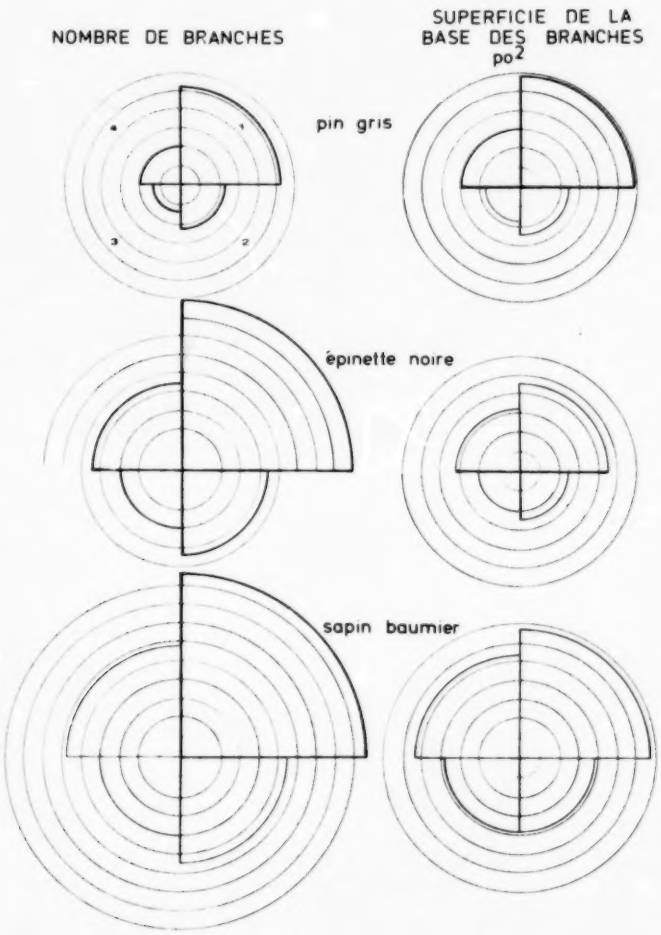



Figure 5. Distribution des branches autour de la tige, en nombre par pied linéaire ou en superficie de la base des branches. La distance entre deux cercles concentriques représente une branche ou un pouce carré de superficie de base des branches (Drolet et coll., 1971).

**Orientation**

C'est l'angle qu'une branche forme avec le tronc de l'arbre. Dans l'étude effectuée par Drolet et coll. en 1971, le pin gris formait l'angle le plus faible, 70°, le sapin baumier présentait un angle moyen de 90°, alors que l'épinette noire avait l'angle le plus fort, 106°.

L'angle formé par les branches est important dans toute étude sur la récolte des arbres entiers; en effet les arbres qui présentent un grand ou un petit angle offrent moins de résistance au compactage et à la formation de charges plus serrées, car leurs branches sont plutôt souples et couchées le long du tronc, soit vers le haut, soit vers le bas. Les arbres dont les branches sont placées à 90° sont ceux qui offrent la plus grande résistance au compactage. Lavoie (1980) a trouvé que les chicots de branches offraient une plus grande résistance au compactage dans la préparation d'une charge d'arbres entiers que ne le faisaient les branches entières.

La figure 6, tirée d'un document russe, montre que les branches du bouleau et du peuplier forment un angle plutôt faible avec le tronc de l'arbre. Les angles donnés pour l'épinette sont confirmés par l'étude de Drolet. On voit que pour le bouleau et pour le peuplier, aucune branche n'atteint ni ne dépasse l'angle de 90° et que la majorité des branches sont à 30° (bouleau) et à 50° (peuplier) de l'axe du tronc.

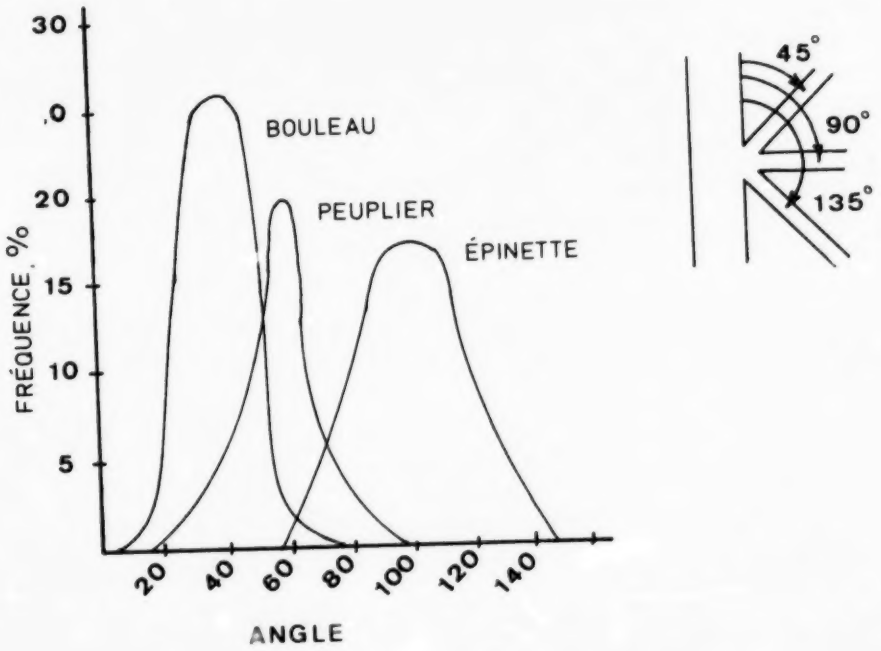



Figure 6. Distribution des branches selon l'angle formé avec l'arbre, en pourcentage (Vorobiev, 1963).

**Forme**

La forme des branches indique si une branche est droite, courbée ou fourchue.

"La cime conique des conifères peut varier de la cime à large base que présentent la plupart des pins, à la forme presque cylindrique de l'épinette, particulièrement dans les forêts du grand nord. Les branches peuvent être courbées vers le haut ou vers le bas, ou bien il arrive qu'elles soient ascendantes au sommet de l'arbre, horizontales au centre et retombantes à la partie inférieure.

"La forme que les branches prennent est fonction de caractéristiques héréditaires, aussi bien que de facteurs environnementaux.

"La direction initiale d'allongement de la branche est déterminée par l'angle du bourgeon latéral sur la tige-mère, appelé angle d'insertion. Si la pointe du bourgeon forme un angle avec la tige, la branche poussera au début selon cet angle parce que, étant fermement attachée à la base, elle ne peut pivoter ni courber immédiatement. Cet angle d'insertion reste donc l'angle qui se trouve à la base de la branche.

"Une fois libérée des contraintes imposées à la base, la partie de la branche qui va en s'allongeant s'oriente selon son angle préféré sous l'influence de la gravité. Pour les nouvelles pousses, cet angle est généralement vers le haut. Même sur les branches horizontales, les extrémités des branches qui se sont récemment allongées se dirigent habituellement en montant. Cet angle formé par la partie terminale de la branche est appelé angle de géotropisme. Comme nous l'avons mentionné, il faut à la pousse une certaine longueur avant qu'elle puisse se courber selon l'angle de géotropisme. Des pousses courtes peuvent ne pas avoir d'angle de géotropisme tout simplement parce qu'elles sont trop courtes. Par exemple, les courtes pousses du mélèze, qui n'atteignent que rarement un demi-pouce de longueur, ne présentent en fait aucune courbe et croissent selon l'angle d'insertion. Les courtes pousses de l'érable rouge, qui peuvent croître régulièrement pendant 30 ans et atteindre un pied de longueur ou plus, montreront éventuellement une réaction de géotropisme de sorte que les extrémités pousseront vers le haut même si la branche avait d'abord commencé à croître vers le bas.

"L'angle d'insertion se situe à la base de la branche et l'angle de géotropisme à son extrémité en croissance, mais à mesure que la branche s'allonge, la partie centrale développe habituellement un troisième angle, qui est différent. Cet angle, appelé angle d'inclinaison, est généralement celui dont il est question quand on parle de l'angle caractéristique des branches pour une essence. La raison d'être de l'angle d'inclinaison est que la branche commence à pousser selon un angle à la verticale et que, à mesure qu'elle s'allonge, elle forme des pousses latérales et supporte un poids de plus en plus lourd de feuilles et de branches. Ce poids fait pencher la branche vers le bas, malgré la formation dans la branche de bois de réaction qui tente de la faire redresser. L'angle d'insertion est maintenu parce que la branche est plus épaisse près de la tige principale. L'angle de géotropisme est aussi maintenu parce que l'extrémité continue à croître vers le haut, sans tenir compte de l'angle d'inclinaison. Graduellement la partie la plus ancienne de la branche qui au départ suivait

l'angle de géotropisme, est courbée par le poids de l'extrémité jusqu'à l'angle d'inclinaison." (Wilson, 1970).

**Dimensions** (diamètre et longueur)

Comme le montrent les figures 7 et 9, les branches d'épinette ont tendance à avoir un diamètre plus faible que les branches de pin.

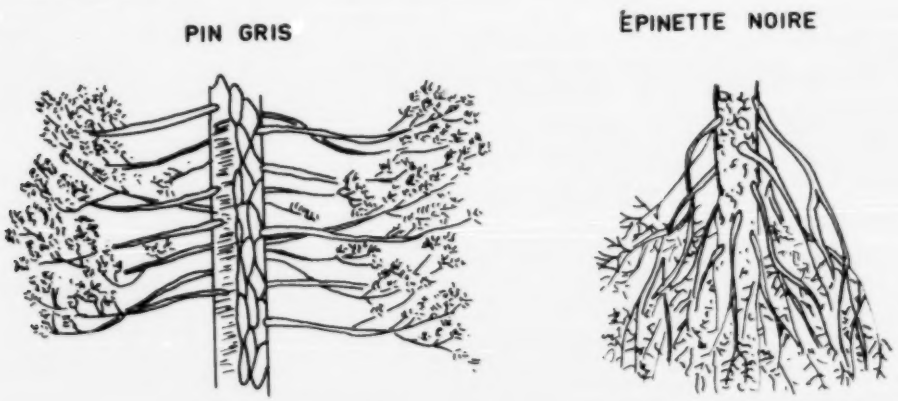



Figure 7. Dimensions relatives des branches, épinette noire et pin gris (Rudolf, 1956).

Les résultats d'études sur le diamètre et la longueur des branches d'épinette noire dans la région de Baie-Comeau (Horncastle, 1964)* sont confirmés par des études finlandaises (Haddila, 1971), ainsi que le montrent les figure 8 et 9.

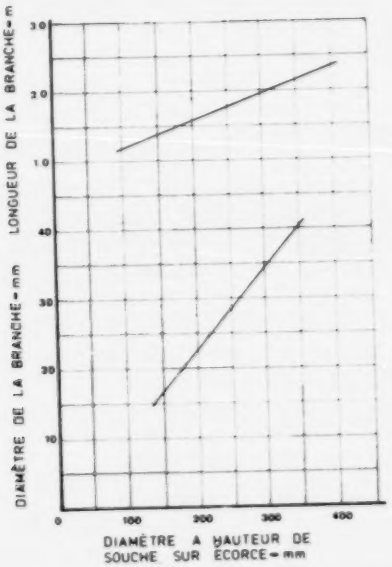



Figure 8. Diamètre de la plus grosse branche, et sa longueur en fonction du diamètre à hauteur de souche (Horncastle, 1964).*

---

* Horncastle, D.C. 15 janvier 1964. Lettre personnele à C.R. Silversides.

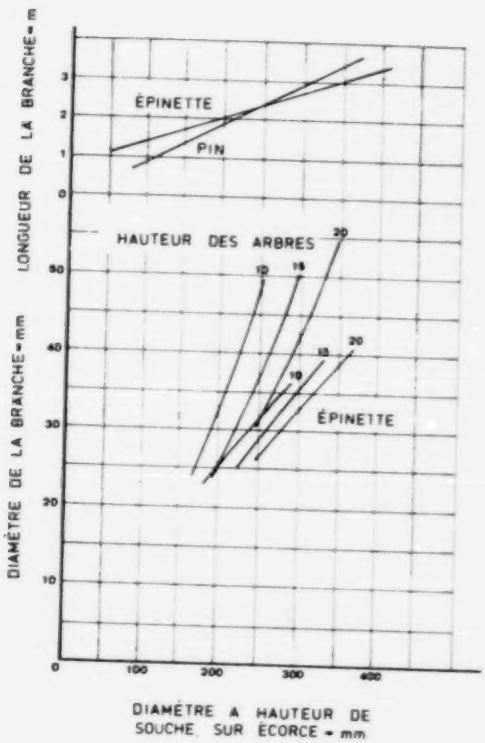



Figure 9. Diamètre de la plus grosse branche, et sa longueur en fonction du diamètre à hauteur de souche (Hakkila, 1971).

La grosseur et la largeur des branches jouent un rôle important dans le transport des arbres entiers parce qu'elles déterminent dans une large mesure la possibilité de compacter les charges et d'augmenter leur densité en vrac. Les branches sont susceptibles de diminuer de 20% en diamètre dans les 50 premiers millimètres de distance du fût de l'arbre (Ager, 1971). Dans son étude, Lavoie (1980) affirme que les branches ne semblent pas constituer un facteur important dans le volume par charge, car une fois qu'elles ont été brisées, c'est le chicot de branche qui reste sur le tronc qui exerce le plus d'influence sur la densité des piles.

En essayant de compacter les arbres entiers, que ce soit avec des branches ou avec des chicots de branches, on peut supposer que la résistance du bois augmente avec sa densité. La densité et la résistance du bois des branches sont plus grandes que celles du bois de fût (Brown et coll., 1952). Étant donné leur mode de croissance, les branches contiennent une forte quantité de bois de réaction et les cellules, particulièrement chez l'épinette, ont donc des parois épaisses. On a trouvé que la densité moyenne du bois de branche dans une épinette de Norvège du sud de la finlande était égale à 151% de la densité du bois de fût et qu'elle était de 105% pour le pin sylvestre (Hakkila, 1971).

Le bois de compression est le bois de réaction des conifères; il se développe à la partie inférieure des branches. Il possède une densité

beaucoup plus forte que le bois normal (Kollman et Cote, 1968). Le bois de réaction des arbres feuillus est du bois de tension et il se forme à la partie supérieure des branches.

Chinn (1982) décrit, au point de vue pratique, l'effet sur la densité de la charge de la présence des chicots de branches. "L'étude de FERIC a démontré que la perte des branches et des houppiers n'avait aucun effet sur le nombre d'arbres qui pouvaient constituer la charge. Les branches ne se brisent pas nettement au niveau du tronc mais laissent des chicots d'environ 10 cm qui empêchent de tasser les arbres plus rapprochés les uns des autres. Cet espace suffit à loger les branches souples d'arbres verts et non gelés. Ainsi le volume marchand des arbres d'une charge est le même, que les branches soient encore sur le tronc, ou qu'elles aient été brisées durant l'abattage et le déplacement en bordure de route."

## Longueur des arbres

Les arbres entiers peuvent varier considérablement en longueur. Ceci est particulièrement vrai dans le cas d'arbres qui ont poussé dans une forêt non aménagée, où l'on rencontre une grande variation dans la densité du peuplement, ainsi que dans les dimensions et l'âge des arbres.

La longueur des arbres est l'une des caractéristiques les plus importantes dont il faut tenir compte dans le transport des arbres entiers par camion, étant donné son impact sur la longueur et la densité de la charge.

La plus grande partie des données disponibles sur la longueur des arbres parle de "moyennes", alors que les remorques, l'équipment de manutention, etc. doivent être conçus en fonction de "maxima". Dans le tableau 1 par exemple, on voit dans le sommaire des statistiques obtenues pour un vaste échantillon d'arbres (pin gris, épinette noire et sapin baumier) que, pour un diamètre moyen donné, les longueurs varient de ± 2,5 - 3 mètres. On peut donc s'attendre à ce que des pins gris mesurant 190 mm (7.5 po) au dhp aient une longueur qui se situe n'importe où entre 14,3 et 20,4 mètres, soit une variation possible de 6 mètres.

Une étude effectuée par l'Institut d'aménagement forestier du Service canadien des forêts (Dunfield et coll., 1974) était basée sur un échantillon de 66 millions d'arbres. Parmi les épinettes et les sapins baumiers échantillonnés, le plus grand nombre des arbres dont la longueur dépassait 18 mètres se trouvaient au Nouveau-Brunswick et les arbres les plus courts furent notés à Terre-Neuve et au Labrador. Les épinettes et les sapins baumiers mesurés en Ontario étaient plus longs que ceux mesurés au Québec.

Les figures 10 à 15 inclusivement donnent des renseignements sur les longueurs des arbres entiers à travers tout l'est du Canada, renseignements qui devraient se révéler utiles au moment d'établir les longueurs possibles des charges dans diverses régions. Quand on veut former une charge d'arbres entiers, il peut être intéressant de connaitre la proportion des diverses longueurs d'arbres. Il n'y avait pas de données disponibles relativement au pourcentage cumulatif des longueurs d'arbres entiers, même s'il y en avait sur les longueurs marchandes. Il a été démontré que le rapport de la longueur marchande à la longueur totale de l'arbre augmente en même temps

que le diamètre de l'arbre, étant donné la longueur constante ou décroissante du houppier non marchand. Pour la gamme des dimensions rencontrées dans l'est du Canada, le rapport a été établi à 0,75 pour les diamètres à la souche inférieurs à 300 mm et à 0,80 pour les diamètres plus grands.

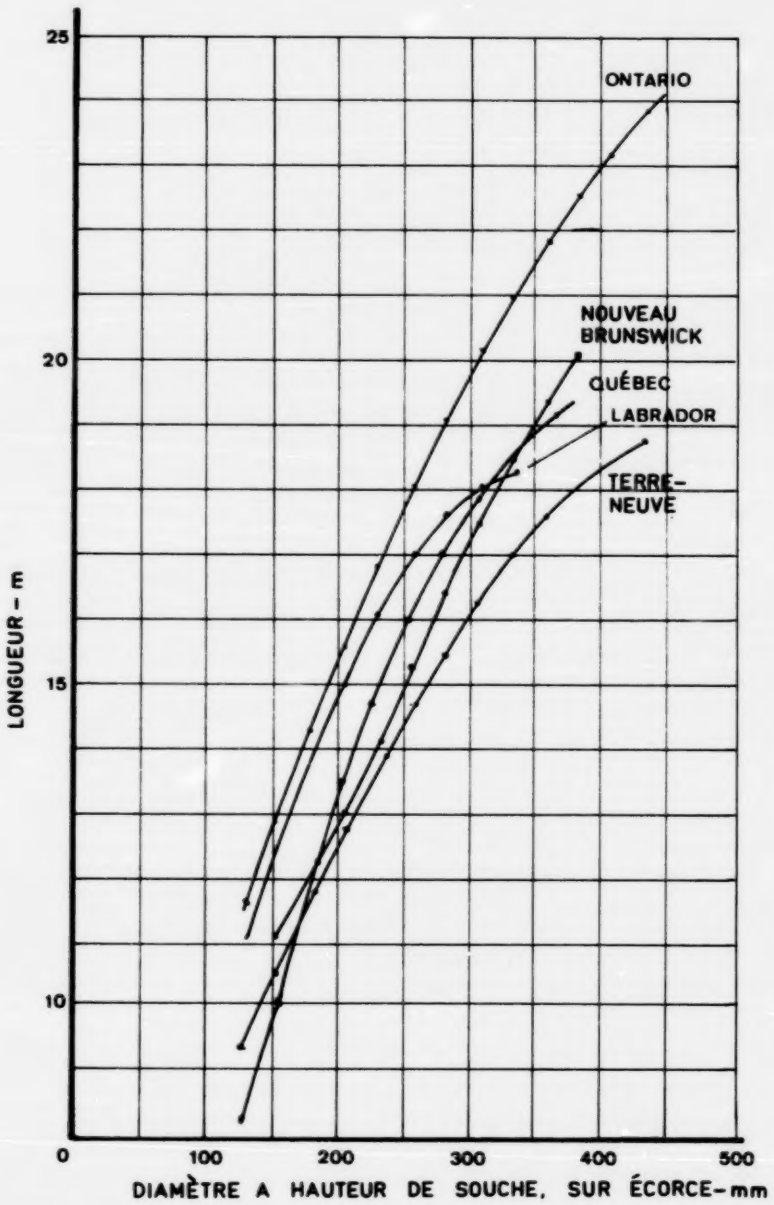



Figure 10. Longueur moyenne totale des arbres par classe de diamètre à la souche, pour l'épinette et le sapin baumier dans l'est du Canada (Dunfield, et coll., 1974).

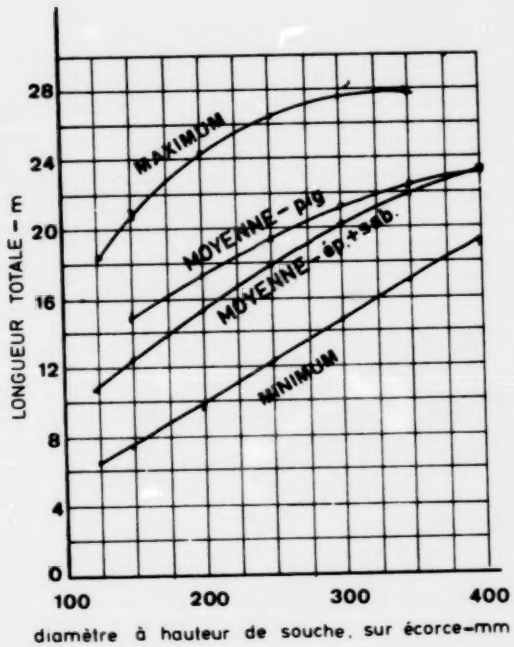



Figure 11. Longueur totale des arbres par classe de diamètre à la souche, pour l'épinette, le sapin baumier et le pin gris en Ontario (Dunfield et coll., 1974).

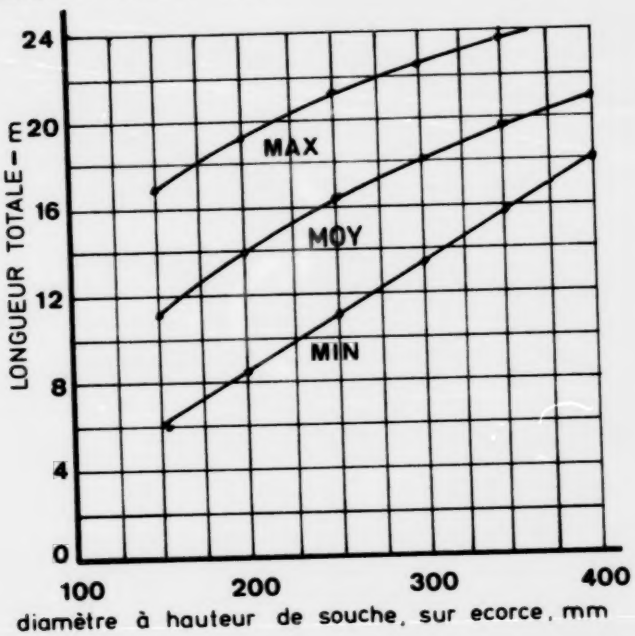



Figure 12. Variation de la longueur totale des arbres, par classe de diamètre à la souche, pour l'épinette et le sapin baumier au Québec (Dunfield et coll., 1974).

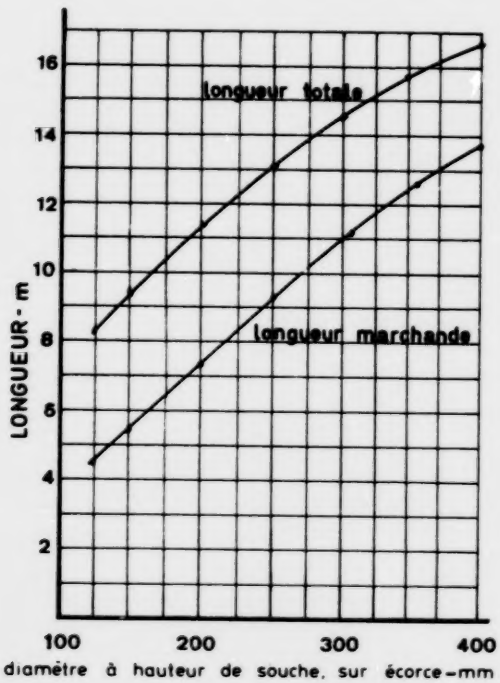



Figure 13. Longueur marchande et longueur totale moyennes pour l'épinette et le sapin baumier dans le nord-est du Nouveau-Brunswick (Dunfield et coll., 1974).

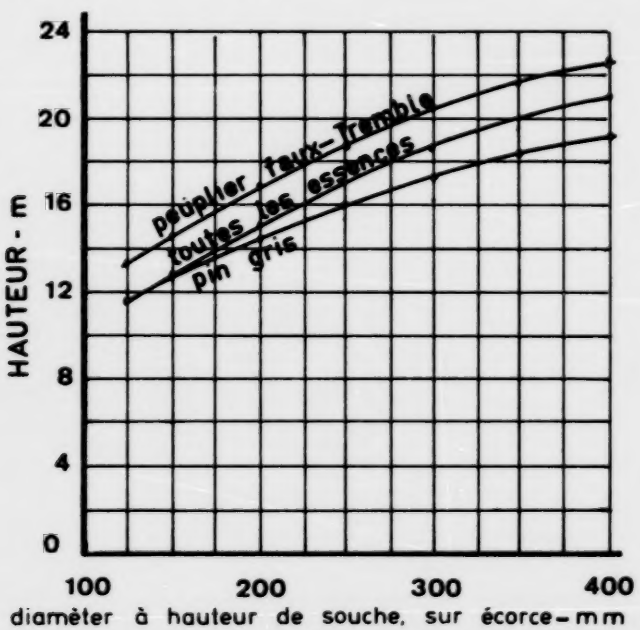



Figure 14. Longueur totale des arbres par classe de diamètre à la souche pour les résineux et le peuplier faux-tremble en Saskatchewan (Dunfield et coll., 1974).

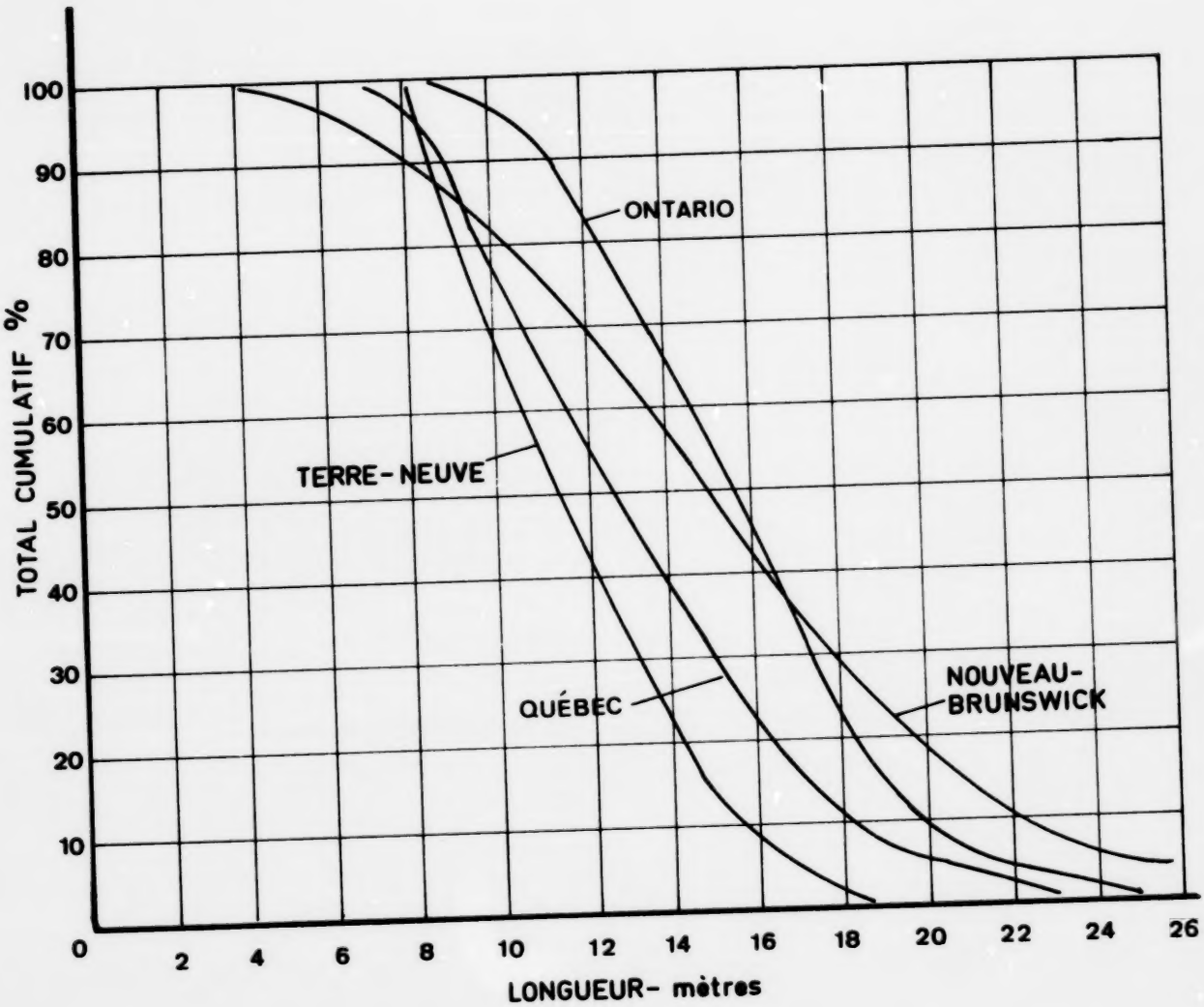



Figure 15. Total cumulatif (%) des conifères par classe de longueur (tiré de Dunfield et coll., 1974).

Ainsi à partir de la figure 15, il est possible de dire qu'à Terre-Neuve tous les arbres à transporter auront 19 mètres ou moins de longueur, que 50% d'entre eux dépasseront 11 mètres, que 75% auront plus de 9,5 mètres et que 100% auront plus de 8 mètres. Si par exemple la longueur de la charge est limitée aux arbres ne dépassant pas 15 mètres, alors 12% des arbres rencontrés auraient une longueur supérieure à la limite.

Tableau 2. Totaux cumulatifs (%) des conifères par classe de longueur (tiré de Dunfield et coll., 1974)

| Longueur, mètres | Province | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Terre-Neuve | Nouveau-Brunswick | Québec | Ontario |
| 28 | | 0 | | |
| 27 | | 1 | | |
| 26 | | 2 | | 0 |
| 25 | | 3 | 0 | 0.5 |
| 24 | | 5 * | 0.25 | 2 |
| 23 | | 7 | 0.5 | 3 |
| 22 | | 9 | 1 | 4 * |
| 21 | | 14 | 1 | 6 |
| 20 | | 19 | 3.5 | 8 |
| 19 | 0 | 24 | 5 * | 14 |
| 18 | 2 | 30 | 9 | 22 |
| 17 | 4 * | 36 | 14 | 32 |
| 16 | 7.5 | 42 | 22 | 42 |
| 15 | 12.5 | 49 | 30 | 52 |
| 14 | 23 | 55 | 38 | 64 |
| 13 | 35 | 62 | 48 | 77 |
| 12 | 47 | 70 | 58 | 85 |
| 11 | 59 | 77.5 | 67 | 92.5 |
| 10 | 71 | 82 | 75 | 96 |
| 9 | 85 | 88 | 87 | 98.5 |
| 8 | 100 | 91 | 96 | 100 |
| 7 | | 94.5 | 99 | |
| 6 | | 96 | 100 | |
| 5 | | 98 | | |
| 4 | | 99 | | |
| 3 | | 100 | | |

* limite 95%

Si un fabricant de remorques désire concevoir une remorque capable de transporter 95% des arbres à rencontrer, alors la longueur de la remorque variera selon la province ou la région.

Tableau 3. Longueur de la remorque en vue du transport de 95% des longueurs prévues d'arbres entiers

| Province | Longueur de la remorque en mètres |
|---|---|
| Terre-Neuve | 16 |
| Nouveau-Brunswick | 23 |
| Québec | 18 |
| Ontario | 21 |

## Poids des arbres

Le poids des arbres entiers en bordure de route varie considérablement selon la saison (été ou hiver) et selon qu'ils ont été trainés ou portés.

La variation dans le poids dépend principalement de la teneur en humidité du fût et de la quantité de branches qui restent après la manutention et le transport en forêt. En hiver, l'arbre perd bon nombre de ses branches gelées et cassantes, de sorte que le poids des arbres entiers durant cette période est beaucoup moindre que durant l'été. Dans l'étude qu'il a effectué pour le compte de FERIC, Lavoie (1980) notait une branchéité de 62% en été et de 10% en hiver. Ces données étaient basées sur un échantillon de 3500 arbres en hiver et de 2000 arbres en été. La branchéité en pourcentage était basée sur une estimation visuelle selon des classes de 25%.

Routhier (1982) a étudié l'influence de la saison et du système de récolte sur la récupération de la biomasse totale. Les résultats apparaissent au tableau 4.

Tableau 4. Taux global de récupération de la biomasse, épinette noire et sapin baumier, en fonction du système de récolte et de la saison (Routhier, 1982)

| Épinette noire | Taux global de récupération[1] |
|---|---|
| abattage mécanique, débusquage avec pince | |
| - arbres non gelés | .69 |
| - arbres gelés | .64 |
| abattage-portage | |
| - arbres non gelés | .90 |
| - arbres gelés | .72 |
| Sapin baumier | |
| abattage mécanique, débusquage avec pince | |
| - arbres non gelés | .75 |
| abattage manuel, débusquage par câble | |
| - arbres gelés[2] | .40 |

[1] Rapport du poids moyen des branches et des houppiers récupérés sur le poids total des branches et des houppiers dans le peuplement forestier.

[2] Ce peuplement avait été lourdement endommagé par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Le taux de récupération est donc inférieur à ce qu'il aurait été dans un peuplement sain.

Une étude sur le terrain portant sur l'influence du système d'exploitation et de la saison sur la perte de branches dans le pin gris a été effectuée pour FERIC (Zundel, 1984). Quelques-uns des résultats apparaissent au tableau 5.

Tableau 5. Facteurs de récupération de la biomasse (Zundel, 1984)

| Abattage-débusquage d'arbres entiers | Été | Hiver |
|---|---|---|
| Poids des cimes en bordure de route en pourcentage du poids des cimes des arbres debout | 76.5 | 67.7 |
| Rapport du poids des branches en bordure de route sur le poids à la souche | .45 | .47 |
| Nombre de branches restantes par rapport au nombre total | .58 | .44 |
| Abattage-portage | | |
| Poids des cimes en bordure de route en pourcentage du poids des cimes des arbres debout | 60.2 | 43.2 |

Dans le tableau ci-dessus, la différence entre l'été et l'hiver pour les opérations d'abattage-portage était semblable en pourcentage aux résultats trouvés par Routhier (1981) pour l'épinette noire, mais la récupération des branches de pin gris était beaucoup plus faible en chiffres absolus. Zundel souligne que les branches du poin gris ont un diamètre et une longueur supérieurs à celles de l'épinette noire. D'après lui, compte tenu du plus grand diamètre des branches de pin gris et par conséquent de la plus grande proportion de matière ligneuse provenant des branches, les faibles efforts de compression produits lors du débusquage permettraient de récupérer davantage de branches, comparativement au portage dans le berceau d'une abatteuse-porteuse Koehring.

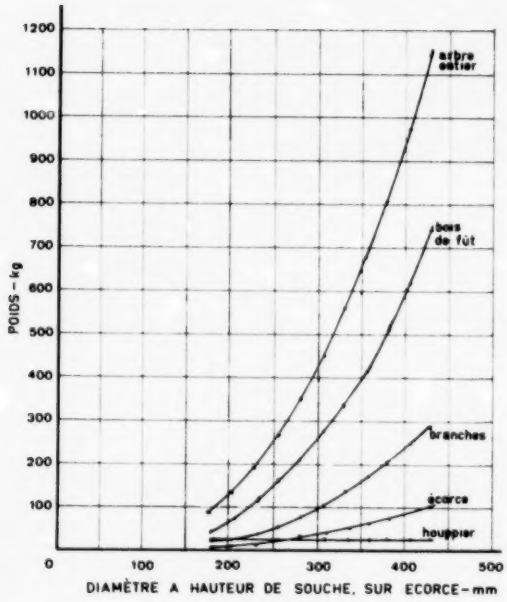



Figure 16. Poids des diverses parties de l'arbre, épinettes, sapin baumier et pin gris combinés (Keen, 1963).

Le poids des arbres entiers n'augmente pas proportionnellement aux dimensions des arbres. Les arbres plus gros subissent une diminution proportionnelle dans le poids de leurs branches et de leurs rameaux, de même que dans leur cime non marchande. C'est ce qu'illustre la figure 17.

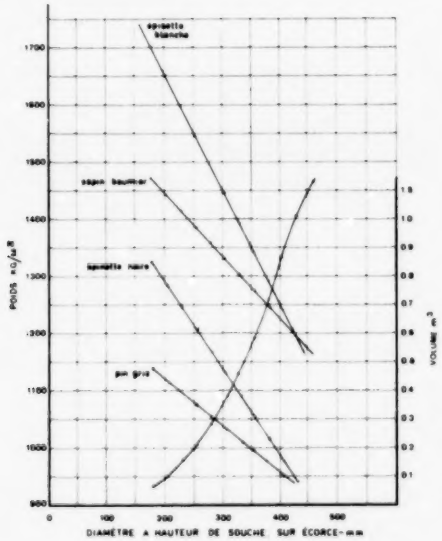


Figure 17. Poids moyen des arbres entiers en kg/m$^3$, épinettes, sapin baumier et pin gris (Keen, 1963).

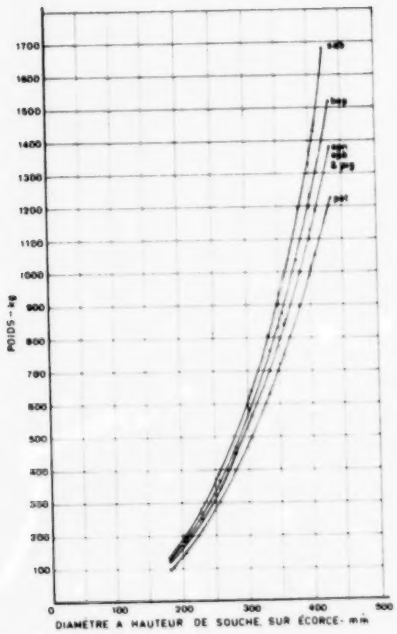



Figure 18. Poids vert maximum des arbres entiers, épinettes, sapin baumier et pin gris.

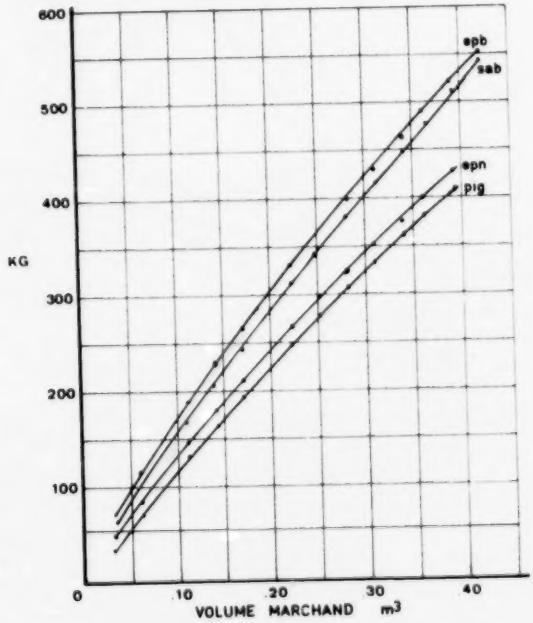



Figure 19. Poids vert des arbres entiers en fonction du volume marchand, épinettes, sapin baumier et pin gris.

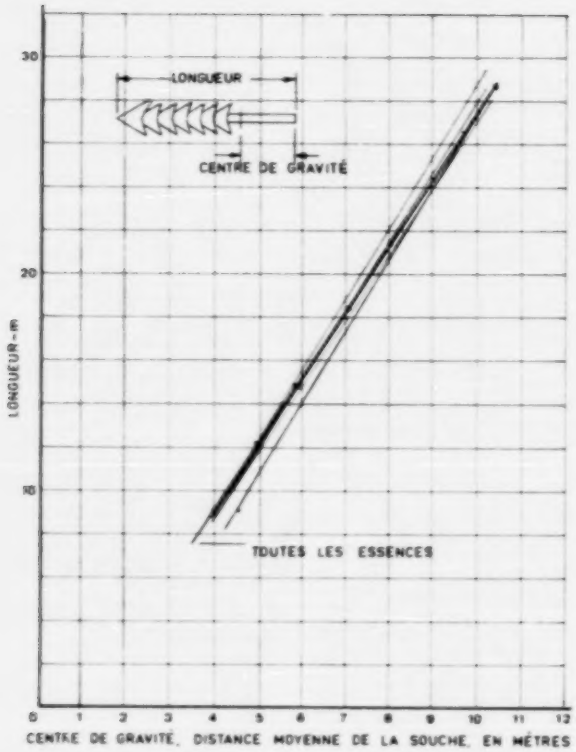



Figure 20. Emplacement du centre de gravité des arbres entiers en fonction de leur longueur (Keen, 1963).

Présence de matières étrangères

Un des problèmes que pose l'utilisation des copeaux d'arbres entiers, que ce soit dans la fabrication de la pâte ou comme combustible dans les chaudières, vient de la présence de matières étrangères ramassées dans le processus de récolte. Ces matières étrangères adhèrent aux branches, aux rameaux, à l'écorce, durant le débusquage des arbres entiers et aussi, quoique dans une moindre mesure, durant les manutentions à la jetée. L'emploi d'abatteuses-porteuses contribue grandement à réduire la gravité de ce problème.

Une étude effectuée par Conner (1978) montre qu'une usine de pâte kraft recevait 14 livres de sable et d'impuretés par tonne de copeaux verts, c'est-à-dire l'équivalent de 66 livres par corde de bois. La présence de sable et d'impuretés risque d'endommager sérieusement l'équipement qui sert à l'alimentation des copeaux dans la fabrication de la pâte, de même que l'équipement utilisé pour la manutention des copeaux énergétiques et les tubes des chaudières où ils sont brûlés.

## Densité en vrac de la charge

La densité en vrac d'une charge est sans doute sa propriété la plus critique si on considère la rentabilité économique du transport. Les cargaisons à faible densité coûtent plus cher à transporter parce qu'elles ne peuvent atteindre les capacités de poids des véhicules de transport. Les coûts ou les tarifs de transport sont habituellement calculés en fonction du poids plutôt que du volume.

Les récoltes fourragères éprouvent le même problème de densité que les arbres entiers et les parties d'arbres, et sont généralement soumises à divers procédés mécaniques dans le but d'augmenter de façon significative leur densité en vrac, comme le montre le tableau 6 (Halyk et Norris, 1971).

Tableau 6. Variation de la densité en vrac du fourrage, à la suite de divers traitements

| Description | Densité en vrac - kg/m$^3$ |
|---|---|
| Fourrage long en vrac | 30 à 65 |
| Fourrage haché (5 à 10 cm en théorie) | 65 à 95 |
| Fourrage en balles (densité moyenne) | 65 à 190 |
| Ensilage brut (dans des silo-tours à forte teneur en humidité) | 160 à 280 |
| Fourrage en briquettes ou en gaufrettes | 420 à 785 |

[1] La densité en vrac est le poids par unité de volume de tout matériau, y compris les vides et l'eau qu'il contient.

Quand il existe une forte différence de densité entre deux méthodes acceptables, le résultat fait peu de doutes. Nous l'avons vu en agriculture, quand le fourrage en vrac a été remplacé par le fourrage en balles, et ce dernier par le fourrage en briquettes ou en gaufrettes. Le même principe s'appliquera dans le transport forestier, entre les arbres entiers, les sections d'arbres et les parties d'arbres, compactés et non compactés.

Il existe peu d'information, sinon aucune, basée sur des expériences de camionnage au Canada, relativement à la densité en vrac des charges d'arbres entiers ou de parties d'arbres. Nous avons cependant à notre disposition les résultats de nombreuses études en Scandinavie. Il a été établi que la densité en vrac dépend de l'essence, du diamètre, de la branchéité, de la longueur moyenne par pièce de bois et de la teneur en humidité. Le diamètre, la branchéité et la longueur moyenne par pièce déterminent dans une certaine mesure la quantité de vides par unité de volume.

On trouvera aux tableau 7 et 8 des données sur la densité en vrac de sections d'arbres et de parties d'arbres (Carlson et Rådström, 1984; Alexandersson, Carlson et Rådström, 1983).

Tableau 7. Pourcentage de volume solide et densité en vrac pour diverses teneurs en humidité. Il s'agit de valeurs moyennes provenant de plusieurs études de camionnage effectuées par Skogsarbeten

| Type de matériel ligneux | Volume solide % | Densité en vrac, kg/m³ (empilé) pour une teneur en humidité de 30% | 40% | 50% |
|---|---|---|---|---|
| Sections d'arbres non compactées provenant de coupes définitives | 30 | 180 | 210 | 250 |
| Sections d'arbres non compactées provenant de travaux de première éclaircie | 25 | 135 | 160 | 190 |
| Résidus non compactés provenant de coupes définitives | 20 | 130 | 150 | 180 |

Ce tableau montre que les sections d'arbres provenant de coupes définitives ont un pourcentage en volume solide plus élevé que celles qui proviennent d'éclaircies, parce que leurs diamètres sont plus forts. Il montre aussi l'influence importante d'une augmentation de la teneur en humidité sur la densité en vrac.

Il est possible de calculer la densité en vrac que devra avoir une charge, si on connait la capacité en volume d'une remorque et la densité en vrac de la charge non compactée, qu'il s'agisse d'arbres entiers, de sections d'arbres ou de parties d'arbres. Supposons qu'une remorque a une capacité de charge de 125 m³. Pour que la charge atteigne la capacité légale permise de 39 000 kg approximativement, sa densité en vrac devrait être égale à 296 kg/m³. Nous voyons au tableau 7 que pour une teneur en humidité de 50%, les sections d'arbres non compactées ont une densité en vrac de 250 kg/m³. Il faut donc en les compactant leur assurer une augmentation relative de densité en vrac égale à:

$$\frac{\text{(densité après compactage - densité avant compactage)} \times 100}{\text{densité avant compactage}}$$

$$= \frac{(296 - 250) \times 100}{250} = 18\%$$

La plupart des études à ce jour ont établi qu'il est difficile de constituer une charge pleine (correspondant à la capacité du véhicule de transport). Les raisons qui en empêchent sont reliées à la nature des arbres entiers: leur forme, leur poids, la distribution des branches, les longueurs tout-venant. Il est par conséquent très difficile de remplir adéquatement tout l'espace disponible.

En Allemagne, la politique adoptée consiste à écimer les arbres entiers au diamètre limite minimum au fin bout, en forêt au moment même de l'abattage. Pour les essences résineuses de l'est du Canada, cette méthode pourrait réduire la longueur totale de 4 à 5 mètres et permettrait d'obtenir une charge plus dense.

La figure 21 montre une différence marquée dans la densité de charges d'arbres entiers et de sections d'arbres, compactées et non compactées. Les données sont basées sur de petits arbres, mais indiquent une tendance vers des densités plus élevées de la charge, pour des arbres à plus fort diamètre.

**Tableau 8. Facteurs affectant la densité en vrac de la charge, selon sa nature (Alexandersson et coll., 1984)**

| Nature de la charge | Densité basale (volume solide) kg/m³ | Teneur en humidité % | Densité à l'état vert (volume solide) kg/m³ | Volume solide (empilé) % | Densité en vrac[2] kg/m³ | Longueur moyenne, mètres |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Arbres entiers | 440 | 50 | 880 | 20% | 176 | 15.20[1] |
| Sections d'arbres non ébranchés | 420 | 50 | 840 | 30% | 252 | 5 |
| Billes rondes | 450 | 50 | 900 | 65% | 585 | 4.5 |
| Résidus d'exploitations | 400 | 40 | 667 | 20% | 133 | - |
| Copeaux énergétiques | 450 | 40 | 750 | 30% | 225 | - |

[1] Dépend du diamètre de l'arbre

[2] Densité en vrac (kg/m³) = $\frac{\text{Densité basale (kg/m³ vol. solide) x vol. solide (empilé) (\%)}}{\text{1- teneur en humidité (\%)}}$

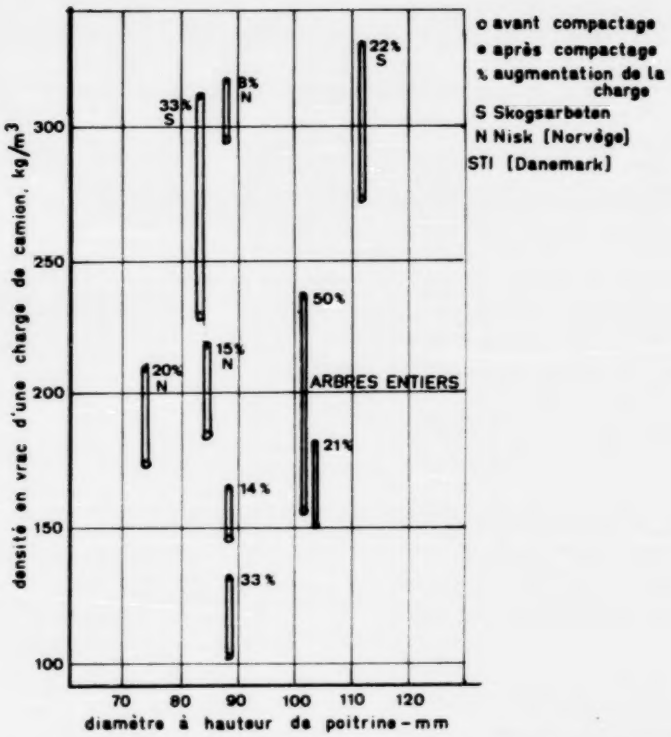



Figure 21. Données provenant de trois pays, montrant les résultats d'études sur le compactage de petits arbres, soit en arbres entiers, soit en sections d'arbres (Carlsson, Hansen, Larsson, 1980).

En examinant les techniques de compactage, on devrait peut-être songer à d'autres types de matériaux et à d'autres façons de procéder. Ainsi, les méthodes de compactage des charges d'arbres entiers, de sections d'arbres et de résidus d'exploitation ont toutes été appliquées à des charges entières de camion-remorque, souvent même avec une surchage, préalablement au compactage.

Les essais de mise en balle des résidus forestiers demandaient que les matériaux soient alimentés de façon à ce que les charges successives placées dans la presse soient compactées l'une après l'autre jusqu'à ce que la balle soit entièrement formée, attachée et éjectée (Schiess et Yonaka, 1982; Schiess et Yonaka, 1983).

La construction de balles ou de meules denses de maïs-fourrage, de coton, d'émondes d'arbres fruitiers, etc. est de plus en plus populaire dans le sud-ouest des États-Unis. Pour constituer ces balles qui peuvent avoir jusqu'à 2,5 mètres de largeur, 2 mètres de hauteur et 10 mètres de longueur, les matériaux sont introduits dans un conteneur amovible qui sert de moule, où ils sont étendus et pressés au moyen d'un piston hydraulique. On procède par couches successives jusqu'à ce que la charge ait atteint les dimensions ou le poids voulus. Le compactage de la charge par couches successives en fait un tout qui peut être manipulé à la façon d'une balle (figure 22).

Quand on procède au compactage des sols, particulièrement des sols granulaires, les matériaux sont placés en couches de 15 à 30 cm et sont pressés avant l'addition d'une nouvelle couche. Si les couches ont plus de 30 cm, l'effort de compactage se trouve dispersé, d'où une densité très réduite dans la partie inférieure. Une des façons d'augmenter l'effort de compactage consiste à fire vibrer le compacteur. Quand le compacteur se met à vibrer, une partie du mouvement est transmise aux éléments pressés et ceux-ci ont tendance à se tasser les uns contre les autres pour remplir tous les vides qui les séparent.

Nous ignorons si l'application d'un mouvement vibratoire est susceptible d'améliorer le compactage des arbres entiers, des sections d'arbres ou des résidus d'exploitation au point que cela devienne économique, mais on devrait s'y arrêter. Nous n'avons qu'à examiner les wagons de chemin de fer ou les camions chargés de billes de bois à pâte et de copeaux pour constater à quel point les vibrations ont contribué à tasser la charge durant le trajet. Ainsi les copeaux pourront perdre jusqu'à 10% de leur volume dans une remorque (Gislerud, 1976).

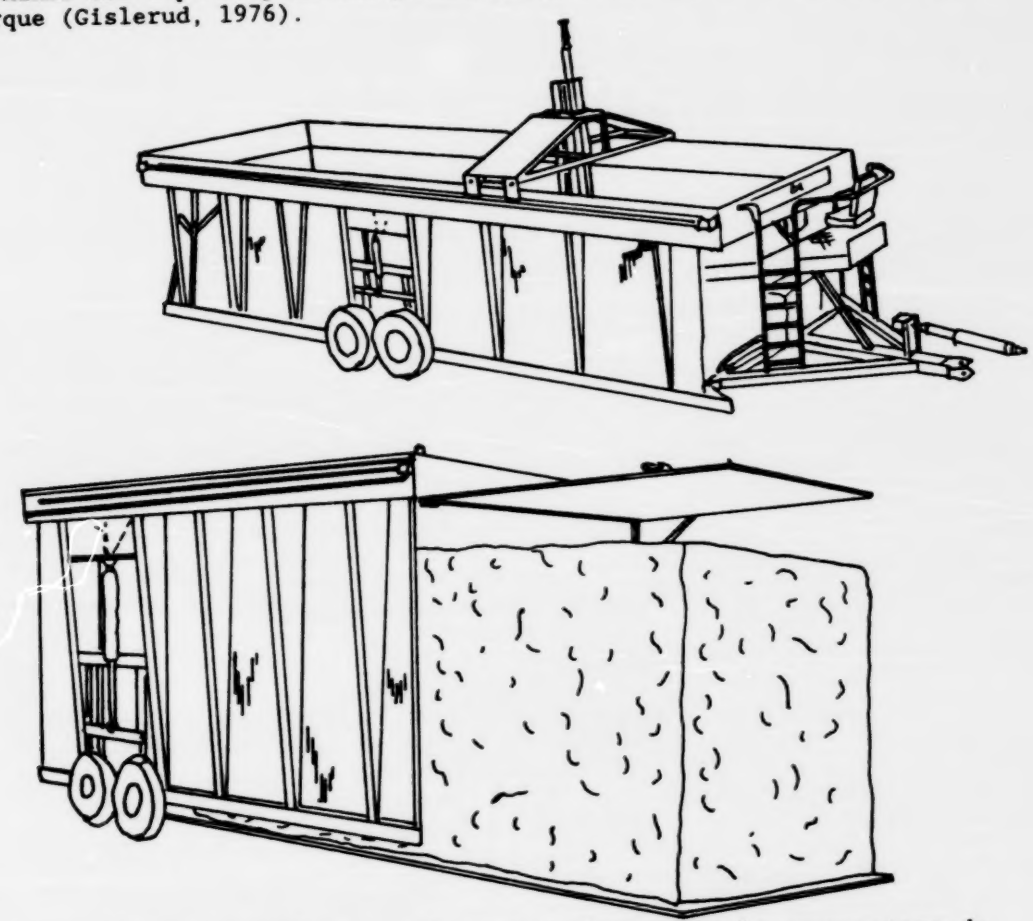


Figure 22. Conteneur amovible avec piston baladeur pour le compactage du coton, du maïs-fourrage, des émondes d'arbres fruitiers, montrant le piston hydraulique utilisé pour augmenter la densité en vrac (Cotton Machinery Company).

## Sections d'arbres

Là où le transport d'arbres entiers ne s'est pas révélé pratique ou économique, il peut être intéressant de transporter des arbres non ébranchés en sections. Selon cette méthode, les arbres entiers sont tronçonnés en deux ou trois sections, selon leur longueur, ce qui permet de les charger dans des remorques plus courtes et de former des charges plus régulières, plus compactes et plus denses. On explore actuellement en Suède et en Finlande les possibilités qu'offre cette méthode (Larsson, 1980).

Les arbres entiers sont acheminés par traînage ou par portage en bordure de route où ils sont repris par une grue à flèche articulée équipée d'un grappin-scie. Ils sont alors coupés à la longueur voulue et chargés en une même opération. En Finlande la partie inférieure de l'arbre est destinée au sciage et est donc ébranchée s'il est nécesaire. La cime du même arbre, destinée au bois à pâte, n'est pas ébranchée, non plus que les arbres plus petits qui ne donneront que du bois à pâte. Les billes de sciage et les sections non ébranchées sont mélangées dans une même charge. Le poids des billes écrase les branches, donnant une charge compacte (figure 33).

On étudie actuellement en Suède le transport des sections d'arbres non ébranchés, et on semble favoriser cette méthode. Il n'y a pas de doute qu'avec de tels matériaux, il est possible d'obtenir des charges ayant une plus grande densité en vrac qu'avec des arbres entiers. Les charges ont une longueur maximale uniforme et les pièces plus courtes se glissent facilement à travers le reste. Le fait de réduire les arbres entiers en longueurs plus courtes et uniformes s'intègre bien aux méthodes actuelles de récolte en Suède et en finlande. Dans ces pays, la méthode standard consiste en effet à couper les arbres en courtes longueurs pour les sortir de la forêt sur des porteurs forestiers. Au Canada, la méthode standard consiste à traîner les troncs entiers ou les arbres entiers hors de la forêt jusqu'en bordure de route. Le transport des troncs entiers par camion est une pratique courante dans l'est du Canada et on ne devrait guère éprouver de difficultés à s'ajuster au chargement et au transport d'arbres entiers s'il était possible d'augmenter suffisamment la densité en vrac de la charge pour qu'elle devienne économique.

## CANADA

En Suède et en Finlande, la tendance s'oriente définitivement vers la production de sections d'arbres non ébranchés plutôt que d'arbres entiers, écimés ou non. La principale raison invoquée est la capacité d'obtenir une densité en vrac plus acceptable avec les sections d'arbres qu'avec les arbres entiers. Un autre élément très important est que dans ces deux pays, les exploitations forestières ont depuis toujours été orientées vers la production de bois courts; leur expérience est donc entièrement basée sur les bois courts et les sections d'arbres, et leur équipement est particulièrement adapté à cette forme d'exploitation.

En Amérique du Nord, le débusquage de troncs entiers, leur manutention et leur transport sur les routes sont largement répandus dans toute

l'industrie; le défi consiste maintenant à mettre au point les moyens d'assurer aux charges d'arbres entiers une densité en vrac acceptable.

Le transport n'est qu'un des éléments de coût dans la récolte des arbres entiers et leur acheminement à l'usine. Selon des estimations courantes, le rendement économique de la récolte d'arbres entiers montre une réduction de coût de 20% par rapport aux troncs entiers, avant même qu'on n'ait tenu compte de la valeur des copeaux énergétiques. Si on y ajoute cette dernière valeur, on obtient une réduction de 50% du coût du bois à pâte livré à l'usine.

La plupart des études sur le transport des arbres entiers analysent en détails la réduction dans le contenu en bois solide de la charge; cela semble constituer leur principale inquiétude. Le volume de la biomasse et sa valeur comme source énergétique devraient entrer dans les calculs, tout autant que le volume et la valeur du bois marchand.

Le bois a 40% du contenu énergétique de l'huile, 45% de celui du gaz naturel et 57% de celui du charbon. Si l'on tient compte d'une teneur en humidité de 42% et d'un rendement des chaudières de 58%, le bois aura une valeur énergétique de 6,73 x $10^6$ J/kg. Cette valeur énergétique par tonne verte est égale à celle de 187,4 litres d'huile ou 1,18 barils d'huile. Si les prix courants sont de 28 $/bbl, alors 1 tonne de résidus forestiers aura une valeur énergétique équivalente de 33 $.

Le transport d'arbres entiers par camion-remorque n'a été effectué au Canada que sur des chemins privés ou sur des routes où n'existait aucune restriction de dimensions ou de poids. Des exemples de ce type d'opération ont été décrits en détail par Routhier (1982) et par Lavoie (1980). Dans ces conditions, le chargement bi-directionnel des arbres s'est révélé une méthode pratique; les charges ont atteint des largeurs de 4,3 mètres et des hauteurs de 6 mètres, le poids allant jusqu'à 85 000 kg.

Plusieurs entreprises forestières de l'est du Canada (à l'est des Rocheuses) ont procédé à des essais de transport d'arbres entiers, mais tant que nous n'aurons pas à notre disposition d'équipement plus approprié, cette méthode ne pourra prendre d'expansion.

## Règlements relatifs à la circulation routière

Compte tenu de légères variations, les règlements sur la circulation routière qui régissent la longueur, la largeur, la hauteur et le poids sont relativement uniformes à travers tout l'est du Canada. Les provinces de l'Ontario et du Québec permettent des charges plus lourdes pour quelques types d'ensembles routiers, mais les caractéristiques de dimensions sont semblables (tableau 9).

Trois combinaisons différentes de véhicules ont été considérées comme susceptibles de présenter l'envergure appropriée au transport des arbres entiers sur les routes publiques: 1) tracteur et semi-remorque, 3 essieux; 2) tracteur à pont tandem et semi-remorque à pont tandem, 5 essieux; 3) tracteur à pont tandem et semi-remorque à 3 essieux, 6 essieux (tableau 10).

**Tableau 9. Règlements provinciaux régissant les dimensions et les poids des ensembles camion-remorque sur les voie publiques**

| | T.N. | N.-E. | N.-B. | I.P.E. | Qué. | Ont. | Man. | Sask. | Alb. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Longueur hors-tout du train routier (m) ..... | 21.0 | 21.0 | 20.0 | 21.0 | 21.0 | 21.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| Largeur maximale (m) ..... | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 |
| Hauteur maximale (m) ..... | 4.15 | 4.15 | 4.12 | 4.5 | 4.15 | 4.15 | 4.15 | 4.15 | 4.15 |
| Tracteur et semi-remorque: poids, kg 3 essieux | 22 500 | 22 500 | 22 500 | 22 500 | 28 500 | 29 000 | 23 700 | 23 600 | 25 400 |
| Tracteur tandem et semi-remorque tandem: poids, kg 5 essieux | 39 500 | 39 500 | 39 500 | 39 700 | 48 500 | 47 200 | 37 500 | 37 500 | 39 000 |
| Tracteur tandem et semi-remorque à 3 essieux: poids, kg 6 essieux | 48 500 | 48 500 | 48 500 | 48 700 | 57 500 | 56 700 | 37 500 | 37 500 | 39 000 |

L'ensemble formé d'un tracteur à pont tandem et d'une semi-remorque à pont tandem a été choisi comme le train routier le plus approprié, car il manoeuvre bien sur les chemins forestiers en gravier autant que sur les routes publiques pavées. Le tracteur et la semi-remorque (3 essieux) éprouvent souvent des problèmes de traction sur les routes de qualité inférieure alors que le tracteur à pont tandem et la semi-remorque à 3 essieux (6 essieux) ont une capacité de poids trop grande pour que la charge utile puisse atteindre le poids permis.

## Charges possibles sur les voies publiques

En examinant les règlements qui s'appliquent dans la province d'Ontario, on verra que la longueur hors-tout, la largeur et la hauteur des différentes combinaisons camion et semi-remorque sont les mêmes. Seuls les poids permis changent selon le nombre d'essieux sous la charge.

Tableau 10. Capacité des remorques en volume

| Ensemble routier | Largeur m | Hauteur m | Longueur m | Capacité en volume $m^3$ |
|---|---|---|---|---|
| Tracteur et semi-remorque, 3 essieux | 2,4 | 2,75 | 18 | 118[1] |
| Tracteur tandem et semi-remorque tandem 5 essieux | 2,4 | 2,75 | 17 | 112,2 |
| Tracteur tandem et semi-remorque à 3 essieux, 6 essieux | 2,4 | 2,75 | 17 | 112,2 |

[1] Un camion à essieu simple avec un empattement court permettrait à la remorque d'avoir un mètre de plus que les autres en longueur.

À partir de la capacité en volume des remorques, il est possible de calculer les poids des charges d'arbres entiers et la densité en vrac moyenne de chacune.

**Tableau 11. Densités moyennes en vrac nécessaires pour rencontrer les limites maximales de charges**

| Ensemble routier | Poids total permis kg | Poids de l'ensemble routier kg | Poids de la charge utile kg | Volume selon les dimensions de la remorque $m^3$ | Densité moyenne en vrac à la limite légale de charge $kg/m^3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Tracteur et semi-remorque: 3 essieux | 29 000 | 14 000 | 15 000 | 118 | 127 |
| Tracteur tandem et semi-remorque tandem: 5 essieux | 47 200 | 22 000 | 25 200 | 112,2 | 225 |
| Tracteur tandem et semi-remorque à 3 essieux: 6 essieux | 56 700 | 24 500 | 32 200 | 112,2 | 287 |

À partir d'essais effectués en Suède (puisqu'il n'en existait aucun au Canada), il a été établi que pour des arbres entiers non compactés, le volume solide par mètre cube apparent était de 20% (80% de vides). Ainsi, compte tenu d'une densité basale (base sèche) de 440 $kg/m^3$, et d'une teneur en humidité de 50%, la densité en vrac de la charge pour une pleine remorque d'arbres entiers sera de 176 $kg/m^3$.

Des mesures de poids spécifique et de volume pour les arbres entiers ne sont pas disponibles au Canada. Les études par Lavoie (1980), Routhier (1982), Mannisto et Lovas (1983) et Zundel (1984) établissent toutes une relation entre le poids de la biomasse énergétique produite et le volume du bois marchand obtenu. Quand elles donnent les poids des charges totales, elles ne donnent pas le volume occupé par les arbres entiers. Zundel (1984) donne le poids total moyen d'une charge d'arbres entiers sur remorque routière, mais pas de mesure des dimensions de la charge. Si on suppose que le volume légal permis est de 112,2 $m^3$, pour un poids total moyen de 21 470 kg, alors la densité en vrac sera de 191 $kg/m^3$. C'est à peu près 10% de plus que les données suédoises.

La figure 17 établit le poids des arbres entiers à 950 $kg/m^3$. Compte tenu d'un volume solide de 20% par mètre cube apparent, cela donnerait une densité en vrac de 190 $kg/m^3$ pour une charge d'arbres entiers sur remorque.

Pour déterminer les proportions relatives de la charge, on a supposé que le bois de fût représentait 745 $kg/m^3$ (figure 17 et Routhier, 1982). On a trouvé que les quantités de branches et de houppiers chargés en fait dans les remorques variaient considérablement en fonction de l'essence, de la saison d'exploitation, de la méthode d'exploitation, de la santé du peuplement, etc. Aux fins de notre étude, nous avons supposé que ces quantités étaient de 205 $kg/m^3$.

Compte tenu des charges de 17 à 18 mètres de longueur, le volume que peut occuper une charge d'arbres entiers a été établi à 112,2 à 118 $m^3$. Toutefois les arbres à transporter (données provenant de l'Ontario) varient de 8 à 25 mètres en longueur. Une courbe de pourcentage de la charge en fonction de la classe de longueur des arbres montre que 42% des arbres dépasseront 16 mètres de long. Il faudra les écimer, ou bien utiliser des remorques plus longues. Si par exemple il était possible, grâce à un permis spécial, d'utiliser des remorques de 20 mètres de longueur, on pourrait transporter 92% de tous les arbres (figure 23).

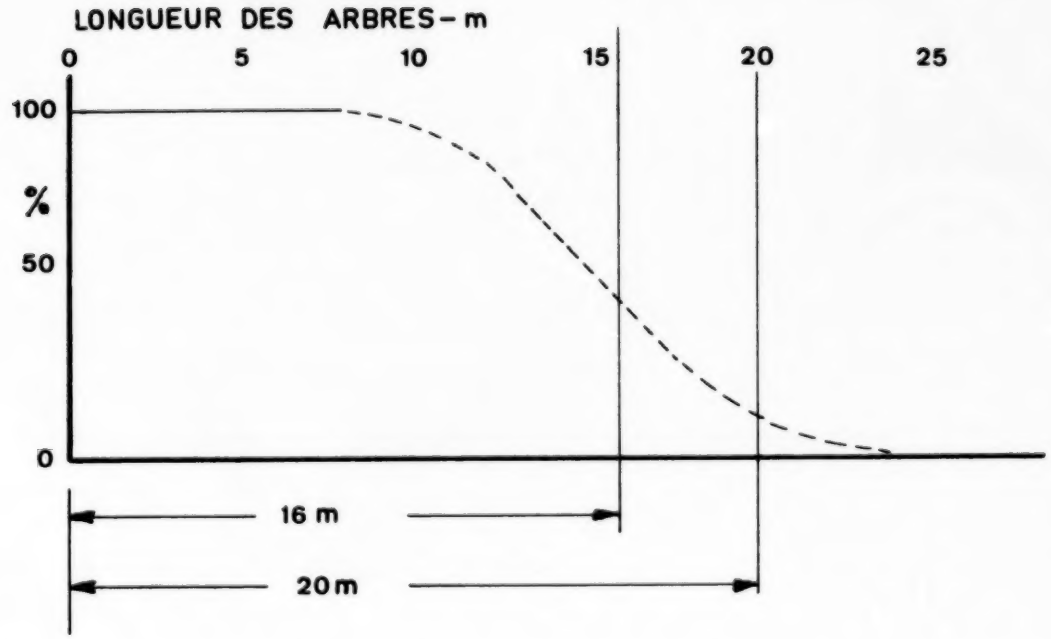



Figure 23. Longueur totale cumulative des arbres entiers (tirée de la figure 15) en fonction de la longueur de la remorque.

## Tableau 12. Données sur les charges d'arbres entiers

| Ensemble routier | Volume de la remorque m³ | Rapport volume solide/volume apparent m³ | Volume solide du bois de la remorque m³ | Poids des arbres entiers @ 950 kg/m³ | Poids de la charge utile permise kg | Raport poids calculé / poids permis |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tracteur et semi-remorque: 3 essieux | 118 | .20 | 23.6 | 22 420 | 15 000 | 1.49 |
| Tracteur tandem et semi-remorque tandem: 5 esseux | 112.2 | .20 | 22.4 | 21 280 | 25 200 | 0.84 |
| Tracteur tandem et semi-remorque à 3 essieux: 6 essieux | 112.2 | .20 | 22.4 | 21 280 | 32 200 | 0.66 |

(1) Tiré de la figure 17.

## Tableau 13. Coûts estimés pour le transport des arbres entiers sur voies publiques - t/km

| Ensemble routier | Poids de la charge d'arbre entiers-kg | Poids permis de la charge utile - kg | Rapport p. calculé / p. permis | Coût ¢/km | Coût ¢/km | Poids de la charge compactée à 20% | Rapport p. calculé / p. permise | Coût ¢/km |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tracteur et semi-remorque: 3 essieux | 22 420 | 15 000 | 1.49 | 102 | 6.8 | 26 904 | 1.79 | 6.8 |
| Tracteur tandem et semi-remorque tandem: 5 essieux | 21 800 | 25 200 | 0.84 | 144 | 6.6 | 26 160 | 1.04 | 5.7 |
| Tracteur tandem et semi-remorque à 3 essieux: 6 essieux | 21 800 | 32 200 | 0.66 | 147 | 6.7 | 26 160 | 0.81 | 5.6 |

## Coûts de transport

En 1984, Transport Canada a publié une étude de coût détaillée sur le transport par camion sur les voies publiques (Trimac, 1984). Pour un ensemble avec semi-remorque ayant 5 essieux, les coûts sont de 1,39 $/km sur des routes pavées et de 1,60 $/km sur des routes de gravier. On a supposé qu'un trajet comportant 25% de route de gravier et 75% de route pavée donnerait un coût moyen de camionnage de 1,44 $/km. Selon la même hypothèse, l'ensemble routier à 3 essieux coûterait 1,02 $/km et l'ensemble à 6 essieux 1,47 $/km.

On trouvera au tableau 13 les coûts de transport par t/km.

## SUÈDE

Peu après le début de la crise énergétique en 1974, des études sérieuses sur la récolte et le transport des arbres entiers ont été entreprises en Suède. Pour la première fois, les parties de l'arbre autres que le bois de fût prenaient une valeur économique substantielle comme source d'énergie.

Au départ, ces études portaient uniquement sur les arbres entiers et sur les résidus d'exploitation, mais plus récemment elles ont accordé beaucoup d'attention aux sections d'arbres non ébranchés. Le tableau 14 donne un aperçu des activités actuelles et projetées en ce sens.

Tableau 14. Volumes manutentionnés dans les parcs de façonnage en Suède (millions de $m^3$ solides, sur écorce) (Åkre, 1984)

| Méthode | 1982 | 1985 | 1990 |
|---|---|---|---|
| Troncs entiers | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Sections d'arbres | 0,5 | 2,0 | 3,6 |
| Arbres entiers | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| TOTAL | 0,8 | 2,3 | 3,9 |

Ce tableau montre qu'aucune augmentation n'est prévue dans la récolte et le transport des troncs entiers ni des arbres entiers, tout l'accroissement étant réservé à la méthode des sections d'arbres. Le terme "sections d'arbres entiers" désigne des tronçons d'arbres non ébranchés en longueurs de 3 à 5 mètres. Avec cette méthode d'exploitation, aucun ébranchage n'a lieu en forêt. Elle offre les avantages d'un travail minimal dans le peuplement même, tout en permettant de contrôler les longueurs durant les phases de chargement et de transport et de récupérer les branches et les houppiers pour la production d'énergie (Jonsson, 1982).

Selon Åkre (1984), la proportion des méthodes par arbres entiers et par sections d'arbres devrait augmenter en Scandinavie, particulièrement en Suède, mais on ne prévoit pas qu'elle représente plus de 5 à 6% de la récolte annuelle en 1990.

La plus grande partie des essais et des travaux de développement en Suède ont suivi deux tendances principales: 1) le chargement et le transport des résidus d'exploitation accumulés aux jetées en bordure de route et 2) les sections d'arbres non ébranchés. Grâce au financement accordé surtout par le Conseil national de développement des sources d'énergie, il a été possible de concevoir des prototypes de véhicules, de les construire et d'en faire l'essai sur le terrain. Ces véhicules comportent des dispositifs de compactage intégrés afin d'augmenter la densité en vrac des résidus et des sections d'arbres (Danielsson, 1983).

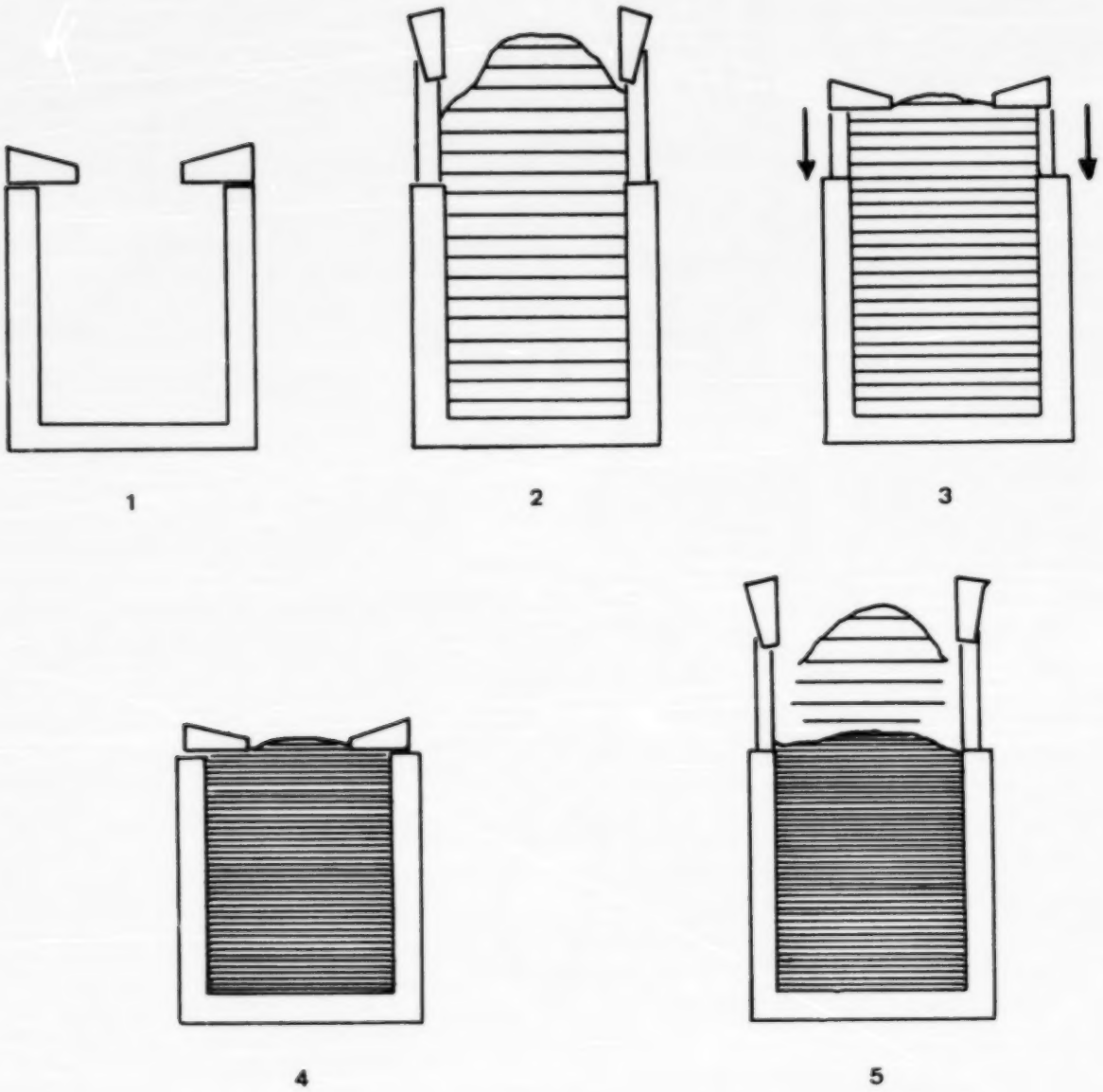



Figure 24. Compacteur Hydrovåg: 1) Le camion est vide, les montants télescopiques latéraux sont rétractés et les bras ou volets presseurs sont repliés vers l'intérieur. 2) Durant l'opération de chargement, les montants latéraux s'allongent vers le haut et les volets s'ouvrent. 3) Quand le camion est chargé, les volets presseurs se ferment vers l'intérieur et les montants latéraux se rétractent. 4) Les volets compactent la charge et les montants latéraux se rétractent au maximum. 5) Si on ajoute d'autres matériaux à la charge, le cycle de compactage se répète (T. Carlsson et Magnus Larsson, 1981).

## Hydrovåg AB, Burträk, Suède

Ce fabricant a conçu et construit une remorque avec volets presseurs montés à l'extrémité de montants télescopiques latéraux. La figure 24 montre le principe du compactage au moyen des volets qui se rabattent sur la charge pour la presser et la rendre plus dense. Ce principe s'est révélé prometteur aussi bien avec les résidus d'exploitation qu'avec les sections d'arbres.

Carlsson et Larsson (1981) ont étudié le compacteur Hydrovåg. Ils ont trouvé que la teneur en humidité des sections d'arbres ou des parties d'arbres était un facteur très important pour déterminer la densité en vrac d'une charge. C'est ce qui apparaît au tableau 15.

Tableau 15. Densités en vrac de la charge atteintes grâce au système Hydrovåg

| Teneur en humidité % | Poids vert kg/m³ | Poids sec kg/m³ | Densité en vrac, kg/m³ charge non compactée | Densité en vrac kg/m³, charge compacté jusqu'à charge utile | Degré de compactage requis % |
|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 550 | 440 | 112 | 307 | 174 |
| 30 | 629 | 440 | 128 | 307 | 140 |
| 40 | 733 | 440 | 150 | 307 | 105 |
| 50 | 880 | 440 | 180 | 307 | 71 |
| 60 | 1100 | 440 | 225 | 307 | 36 |

## Presse Tracobi

La presse Tracobi est un compacteur dont le principe est à peu près analogue à celui de l'Hydrovåg. Comme ce dernier, il est monté de façon permanente sur la remorque et prend la forme de montants télescopiques. Il est conçu pour le compactage de sections d'arbres aussi bien que de résidus d'exploitation (Carlsson et Rådström, 1984). La presse est illustrée à la figure 25. Elle comporte un cadre en forme de U muni de deux volets presseurs qui se déplacent en montant et en descendant à l'intérieur de la paroi verticale. Ces volets sont actionnés par des vérins hydrauliques qui ont une force de 10 tonnes de chaque côté. On obtient ainsi une force de compactage de 20 tonnes par cadre ou une pression de 40 tonnes par charge de remorque.

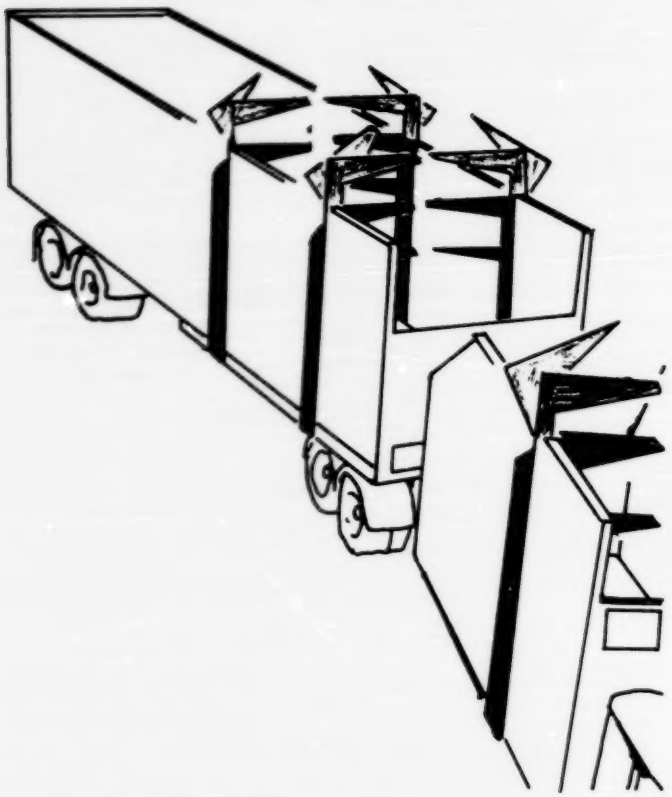


Figure 25. Camion et remorque équipés de la presse Tracobi.

**Exte Comp (Exte Fabriks AB)** (Larsson et Carlsson, 1982).

Il s'agit d'un dispositif de compactage conçu pour les remorques qui transportent des arbres entiers ou des sections d'arbres. Le dispositif demande une remorque avec 4 berceaux équipés de montants télescopiques. Au sommet de chaque montant le long d'un des côtés de la remorque se trouve un rotateur hydraulique qui assure le mouvement d'un bras presseur, le rabattant pour rejoindre le montant opposé ou le relevant à la verticale. Du côté opposé, l'extrémité de chaque montant est équipée d'une pince qui sert à bloquer le bras presseur durant le compactage. Le compactage est effectué par la rétraction des montants télescopiques, le bras presseur s'abaissant alors en pressant la charge. Le dispositif apparait à la figure 26. Chaque montant télescopique est doté d'une force de 12 tonnes. Sur les deux berceaux, la force de compactage atteint donc 48 tonnes. Au milieu des années '70, la société Iggesunds Bruk AB a entrepris des études sur le transport de résidus d'exploitation. On voit à la figure 27 une esquisse de l'équipement de compactage conçu en vue de ces essais.

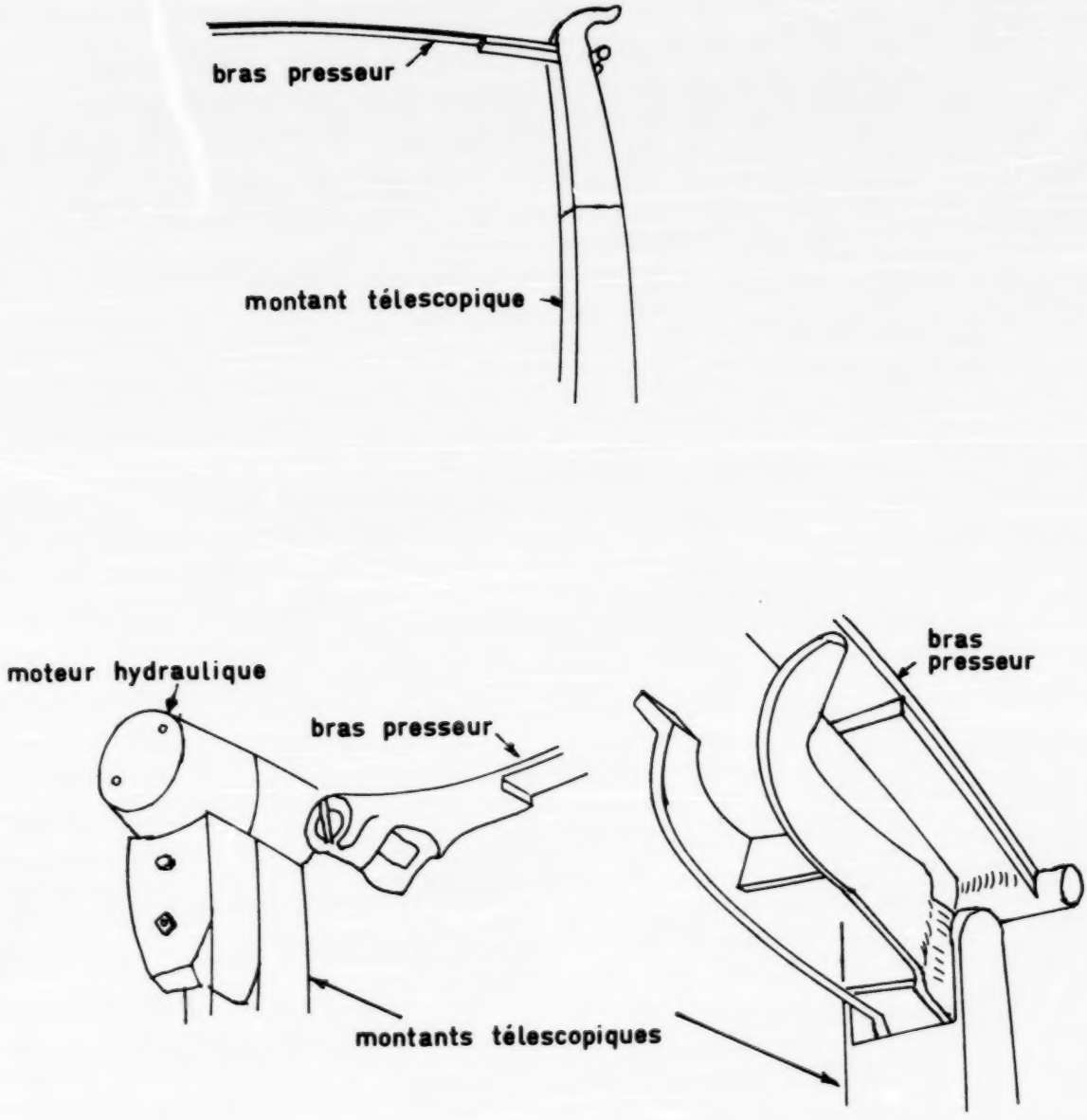



Figure 26. Exte Comp.

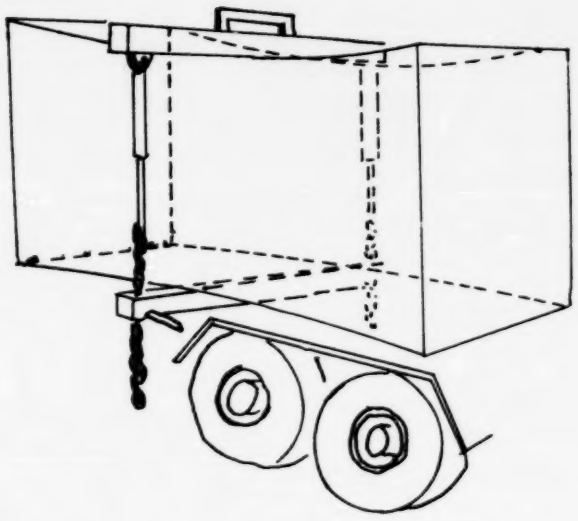


Figure 27. Équipement conçu par Iggesunds Bruk AB en vue d'essais de compactage.

**Dispositifs non intégrés de compactage**

L'intégration de dispositifs de compactage à la remorque même risque d'augmenter considérablement son poids mort ou son poids à vide, réduisant ainsi de plusieurs tonnes peut-être sa capacité de charge utile. C'est pourquoi on a songé à différents moyens d'utiliser au point de chargement un dispositif de compactage qui resterait séparé du véhicule de transport.

Si le chargement se fait au moyen d'un grappin, une technique simple pour compacter la charge consiste à utiliser une grosse grume ou un boulder en le retenant dans le grappin. Certains types de grues ont des vérins hydrauliques capables d'exercer une très grande force de compression; presser la charge avec le grappin peut la compacter suffisamment pour lui donner une densité en vrac économique (Carlsson, Rådström, 1984).

Un dispositif de compactage qui suscite beaucoup d'intérêt (figure 28) a été développé par Jan Evert avec l'aide du Service suédois des forêts.

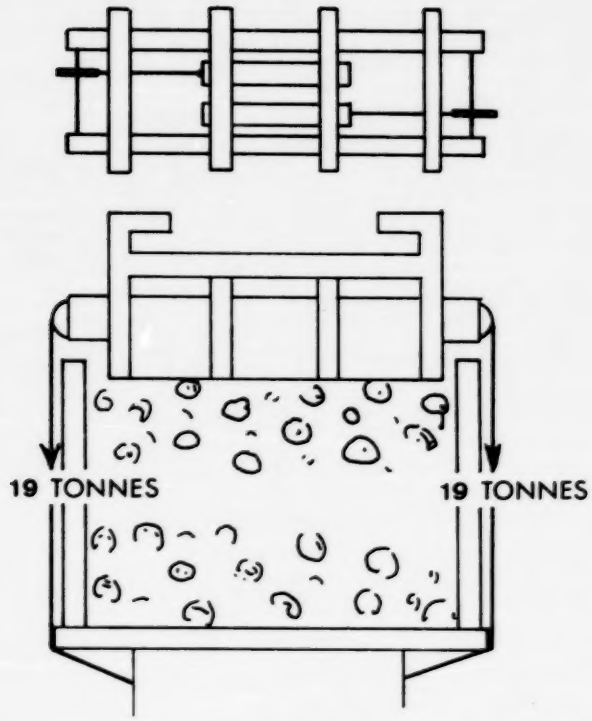



Figure 28. Dispositif non intégré de compactage (Evert).

Ce dispositif comprend un bâti, deux poulies, deux vérins hydrauliques et quelques câbles. Les vérins hydrauliques sont reliés au moyen de tuyaux flexibles au système hydraulique de la grue de chargement.

Le fonctionnement est le suivant: La grue remplit une remorque d'arbres entiers ou de sections d'arbres et monte la charge bien au-dessus de l'extrémité des montants télescopiques. Elle soulève ensuite le compacteur Evert et le place sur le sommet de la charge. Les câbles reliés à l'extrémité des vérins passent par-dessus les roues de poulies à chaque extrémité du bâti; ils sont tirés vers le bas et attachés au cadre de la remorque, en-dessous de la charge. Chaque vérin possède une force de 19 tonnes, soit une pression totale vers le bas de 38 tonnes. Pendant que la charge est encore pressée, on jette autour un câble ou une chaîne pour l'attacher. On relâche alors le compacteur, on détache les câbles et on enlève le compacteur.

Des études sur cette méthode de compactage ont montré qu'elle donnait un taux de compactage de 18%. La densité en vrac des charges a été calculée en faisant varier la teneur en humidité (tableau 16).

Tableau 16. Densités en vrac à l'état vert calculées à partir d'essais du compacteur Evert

| | Sans compactage | | | Avec compactage | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Teneur en humidité, % | 30 | 40 | 50 | 30 | 40 | 50 |
| Densité en vrac à l'état vert, kg/m³ (volume empilé) | 178 | 207 | 249 | 201 | 245 | 294 |
| Taux de compactage, % | | | | | 18 | |

## A-Trans

Cette remorque de conception suédoise semble être construite en partie d'après le modèle des remorques allemandes Doll et possède une paroi latérale qui peut s'allonger pour s'adapter à diverses longueurs d'arbres. Cette remorque se caractérise par des essieux tandem au centre fixés à un sous-châssis central qui pivote pour permettre aux roues de s'inscrire dans un virage.

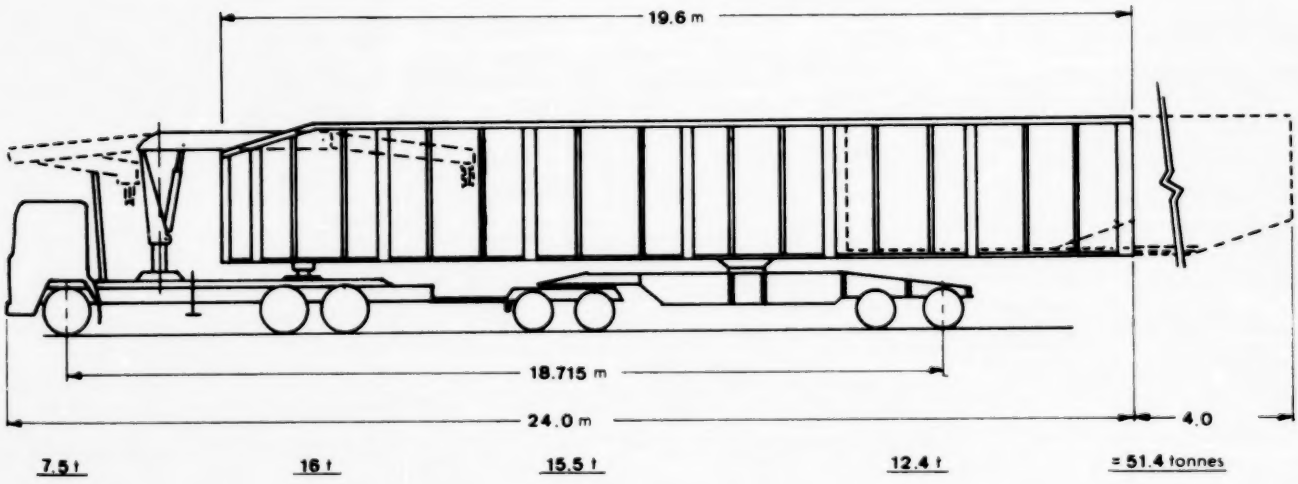



Figure 29. A-Trans.

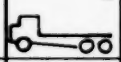
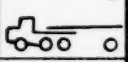
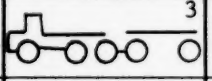
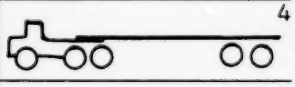
## NORVÈGE

Une première étude sur le camionnage des arbres entiers en Norvège ne portait que sur les produits d'éclaircies, dont la longueur ne dépassait pas 12 ou 13 mètres (Wibstad, 1976). En Norvège, la longueur légale de la charge pour une ensemble camion et semi-remorque est de 16 mètres et de 18 mètres pour une remorque à pont tandem suivie d'une autre remorque.

Wibstad apportait les commentaires suivants: "Sans compactage, les arbres non ébranchés, soit entiers, soit en sections, produisent une charge de faible densité. Les conifères entiers provenant d'éclaircies, étudiés au cours de recherches en Norvège, pesaient environ 160 kg/m$^3$ de bois empilé. Des études suédoises ont montré que si les arbres sont tronçonnés en longueurs maximales de 6 mètres, le poids par m$^3$ de bois empilé augmente à 190 kg".

Le tableau 17 montre la variation dans le degré d'utilisation de la capacité de charge pour différents ensembles camion-remorque. Nous ne nous sommes arrêtés qu'aux ensembles ayant un poids légal de 10 tonnes par essieu, puisque c'est là la charge légale par essieu dans la plupart des provinces du Canada, sauf l'Ontario et le Québec où le poids légal par essieu est de 11 tonnes.

Tableau 17. Utilisation de la capacité de charge pour divers ensembles routiers en Norvège (Wibstad, 1976)

| Type d'équipement | Arbres entiers | | Sections d'arbres « 6 mètres de longueur | |
|---|---|---|---|---|
| | 1  | 2  | 3  | 4  |
| Longueur totale, m | 15 | 15 | 18 | 24 |
| Poids légal par essieu, t | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Poids légal brut, t | 27 | 33 | 41 | 43 |
| Poids du véhicule, t | 14,5 | 15,5 | 15,5 | 17,5 |
| Poids de la charge, t | 12,5 | 17,5 | 25,5 | 25,5 |
| Charge utile, m$^3$ | 69 | 69 | 74 | 103 |
| Charge utile, t | 11 | 11 | 14 | 19,5 |
| Charge utile, % | 90 | 65 | 55 | 75 |

Des véhicules ayant une charge légale de 10 tonnes par essieu, seuls les ensembles routiers à semi-remorque totalisant 3 essieux (1) s'approchent d'une pleine utilisation de la capacité, avec 90%. Par conséquent, lors du camionnage d'arbres entiers, il y a un net avantage, au point de vue économique, à utiliser de l'équipement plus petit que pour le transport des grumes. Si le transport doit s'effectuer en tenant compte de cette limite de charge de 10 tonnes par essieu, il sera nécessaire de compacter les charges, pour utiliser la pleine capacité de l'ensemble routier.

Aucune étude n'a été effectuée en Norvège depuis 1978 sur le transport des arbres entiers par camion-remorque.*

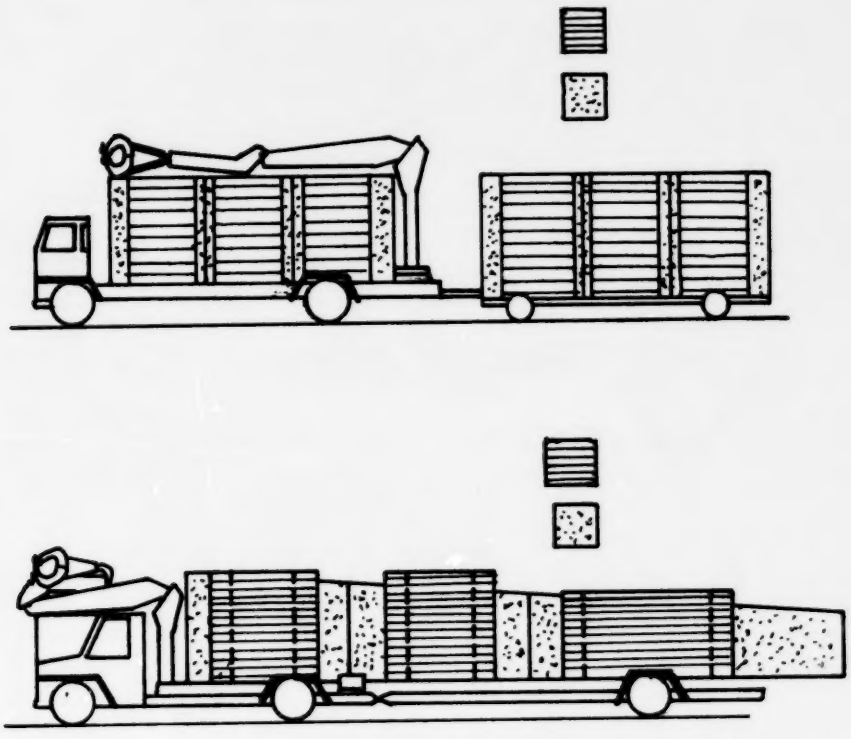


Figure 30. (1) Ensemble routier camion-remorque pour arbres entiers ou arbres écimés ne dépassant pas 14 mètres de longueur. Les montants latéraux ont 2,5 m de hauteur et les parois sont construites en aluminium. (2) Ensemble routier camion-remorque pour le transport de sections d'arbres de 6 mètres de longueur (Skaar et Wefold, 1979).

---

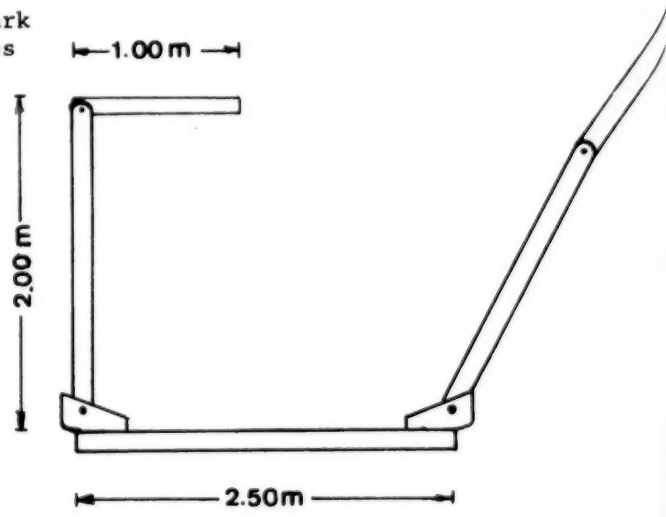
* Lettre personnelle, 24 janvier 1985. Reidar Skaar, Institut de technologie forestière, Collège d'agriculture de Norvège.

## DANEMARK

Il n'existe qu'un intérêt mitigé au Danemark pour les centres de façonnage d'arbres entiers (Åkre, 1984). Le Danemark n'est pas un pays forestier. La coutume veut qu'on transporte les conifères en troncs entiers directement à la scierie où les billes sont coupées selon les dimensions voulues.

Des essais ont été entrepris au Danemark en vue de compacter les charges d'arbres entiers, lors du transport de produits d'éclaircies (Wibstad, 1976). Le compactage obtenu en déployant les montants latéraux durant le chargement et en les ramenant vers l'intérieur une fois la remorque chargée donnait une réduction de volume de 10 à 30%. On utilisait pour ces expériences des montants articulés à 2 sections, de 3 mètres de longueur, conçus de façon à ce que la section inférieure de 2 mètres demeure verticale après le compactage alors que la section supérieure se replie sur la charge. La hauteur du véhicule était limitée à 3,6 mètres, soit le maximum permis au Danemark.

Figure 31. Équipement conçu au Danemark pour le compactage d'arbres entiers (Wibstad, 1976).




## FINLANDE

Le transport d'arbres entiers par camions sur les routes publiques a été entrepris à titre expérimental en 1982, par Ahlström OY, Varkaus, au moyen d'une remorque Doll de fabrication allemande. Les résultats ont été décourageants et à l'heure actuelle le camionnage d'arbres entiers ne se pratique plus en Finlande.

Divers essais ont eu lieu en Finlande sur le transport de sections d'arbres entiers (Häggblom et Pennamen, 1983). Dans les exploitations finlandaises, la partie de l'arbre destinée au sciage est ébranchée en forêt au moyen d'une scie à chaîne; les sections d'arbres et les arbres qui serviront de bois à pâte sont livrés à l'usine non ébranchés.

Figure 32. Transport d'arbres entiers à titre expérimental par Ahlström OY, Varkaus, Finlande, au moyen d'une remorque allemande Doll.

On construisait des charges mélangées dans lesquelles une couche de billes de sciage était déposée sur une couche de sections d'arbres, de façon à accroître la densité de la pile. La densité des charges constituées uniquement de sections d'arbres (camion-remorque de 42 tonnes avec 2 tiers) était de 15,3 $m^3$ solides, celle d'une charge mélangée, formée de couches de sections d'arbres et de billes de sciage était de 33,8 $m^3$ solides et celles d'une charge de billes de sciage de 36,0 $m^3$ solides.

La figure 33 illustre une technique mise au point en Finlande pour compacter les charges de sections d'arbres.

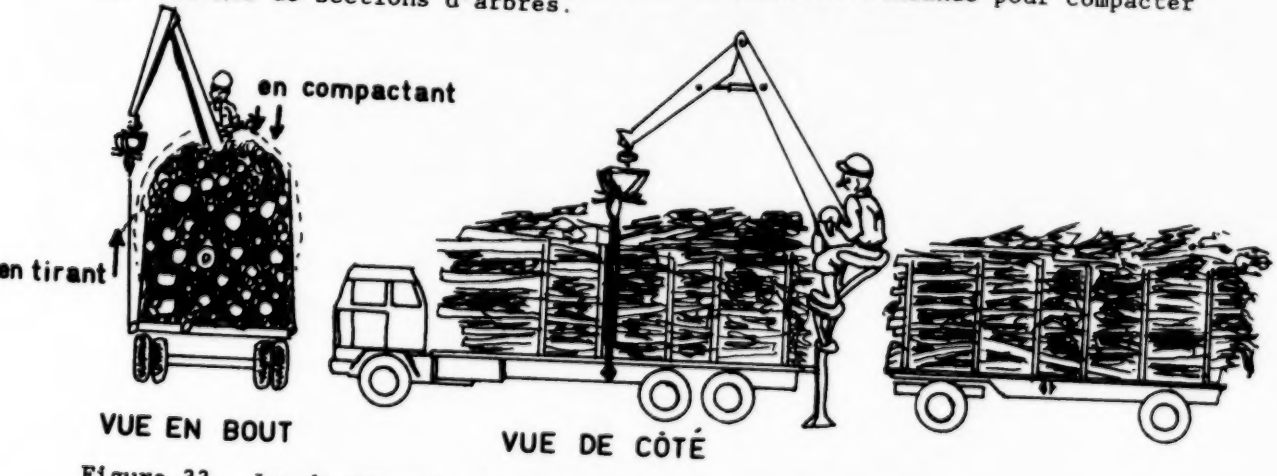



Figure 33. La charge est compactée par la grue qui tire sur le câble. Le câble est attaché d'un côté du camion ou du bâti de la remorque, il passe par-dessus la charge, à travers une poulie attachée au camion ou au bâti de la remorque et il est repris par la grue (Peltola, 1976).

## ALLEMAGNE

Un centre intégré de façonnage offre la possibilité d'optimiser l'utilisation de la matière ligneuse. Une technique nouvelle est apparue pour remplacer la mécanisation en forêt qui utilise de grosses machines mobiles et qui se caractérise par une productivité élevée de la main-d'oeuvre et des coûts modérés; selon cette technique, le façonnage est concentré dans un parc central. Même si elle demande un investissement initial élevé, cette méthode favorise un fort taux d'utilisation, l'optimisation du triage, de même que la commercialisation ou la distribution des produits semi-finis. On prétend que cette concentration de la technologie à l'extérieur de la forêt ouvre de nouvelles possibilités en aménagement sylvicole et permet de plus aux petites entreprises forestières de participer aux nouveaux développements dans la mécanisation et la mise en marché (Grammel, 1982).

En république fédérale allemande, en plus de récolter des arbres entiers, on transporte des arbres entiers écimés, soit à un diamètre de 4 cm (limite pour les poteaux), soit à 7 cm (limite pour le bois d'industrie), soit à 10 cm (limite pour les billes de sciage). L'écimage des arbres entiers offre l'avantage que le parc central n'est pas surchargé de billes de petites dimensions qui en réduisent la capacité. Un autre avantage, c'est qu'il est plus facile de transporter des longueurs plus courtes sur des routes à grande circulation. Il est important au point de vue écologique que les houppiers restent en forêt pour enrichir le sol et servir éventuellement de source de semences. On devrait toutefois tenir compte du désavantage que présente la diminution du volume de biomasse utilisable.

Le tableau 18 (Grammel, 1982) montre les résultats de l'utilisation d'épinette de Norvège (Picea abies) en arbres entiers. L'assortiment de produits traditionnels sert de base, soit 100%.

Tableau 18. Rendement en biomasse (%) lors du façonnage d'arbres entiers écimés à un diamètre moyen de 5,2 cm

| Dhp, cm | 5,0-9,9 cm | 10,0-14,9 cm | 15,0-19,9 cm | 20,0-24,9 cm |
|---|---|---|---|---|
| Volume des billes | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Gros bouts | 6,4 | 4,0 | 3,3 | 2,7 |
| Fins bouts | 1,7 | 1,1 | 0,5 | 0,4 |
| Sciure | 0,7 | 0,5 | 0,5 | 0,4 |
| Bois ronds | 108,8 | 105,6 | 104,3 | 103,5 |
| Arbres entiers écimés | 135,3 | 127,4 | 127,6 | 121,3 |
| Arbres entiers | 154,2 | 139,8 | 138,9 | 129,6 |

À mesure que les dimensions des arbres augmentent, la réduction dans le rendement en biomasse (%) diminue, passant de 19% pour des arbres de 5,0 à 9,9 cm jusqu'à 8% pour des arbres de 20 à 24,9 cm. La réduction est en pourcentage et non en valeurs absolues. Dans une étude portant sur 232 charges de camions d'arbres entiers, il y avait pour chaque $m^3$ de produit final un autre 300 kg d'aiguilles, de branches et d'écorce (poids à l'état vert pour une teneur en humidité moyenne d'environ 50%).

En mai 1984, Wipperman a présenté en Turquie une communication devant le Comité conjoint FAO/ECE/OIT sur les techniques forestières et la formation des ouvriers forestiers. Le titre de l'exposé était le suivant: "Location and Methods of Primary Conversion in Central European Countries, A Sub-Regional Status Report for Central Europe" (Wipperman, 1984). Il y affirmait que les arbres entiers, pin et épinette, destinés à un parc central de façonnage, étaient habituellement écimés sur l'aire de coupe et transportés sur les routes publiques en longueurs allant jusqu'à 22 mètres. L'écimage en forêt se fait à un diamètre minimum au fin bout de 5 à 6 cm, et l'ébranchage est effectué dans le parc de façonnage.

On pratique le transport d'arbres entiers sur des distances allant jusqu'à 70 km, dans des camions-remorques dont la longueur peut atteindre 22 mètres. Le camion est conduit par un seul homme et les arbres entiers sont chargés par des grues hydrauliques montées sur les camions.

Les figures 34 à 38 montrent divers modèles de remorques fabriqués par Emil Doll K-G, Bade, RFA. Ils illustrent différents types d'éléments mécaniques, mais ils ont tous été conçus selon le même principe - une benne de remorque de longueur télescopique, la section mobile comprenant un plancher, des parois et un panneau arrière pleins. La longueur de la remorque est réglable selon la charge et peut varier d'environ 7 mètres.

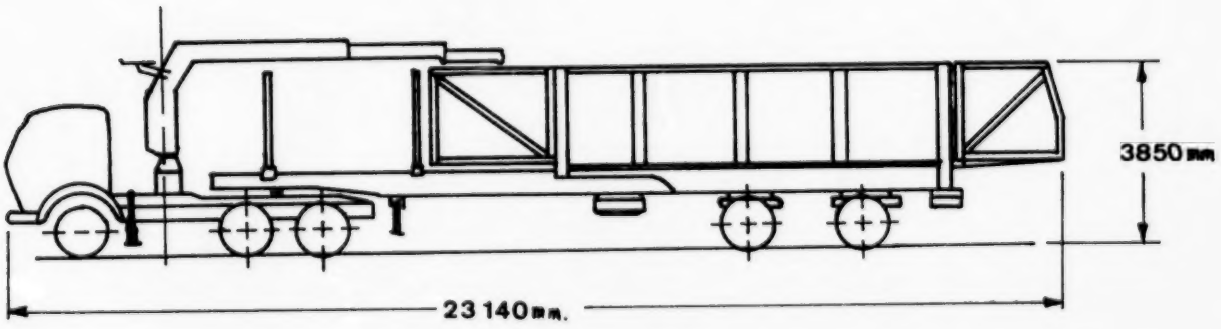



Figure 34. Remorque Doll pour le transport d'arbres non ébranchés.

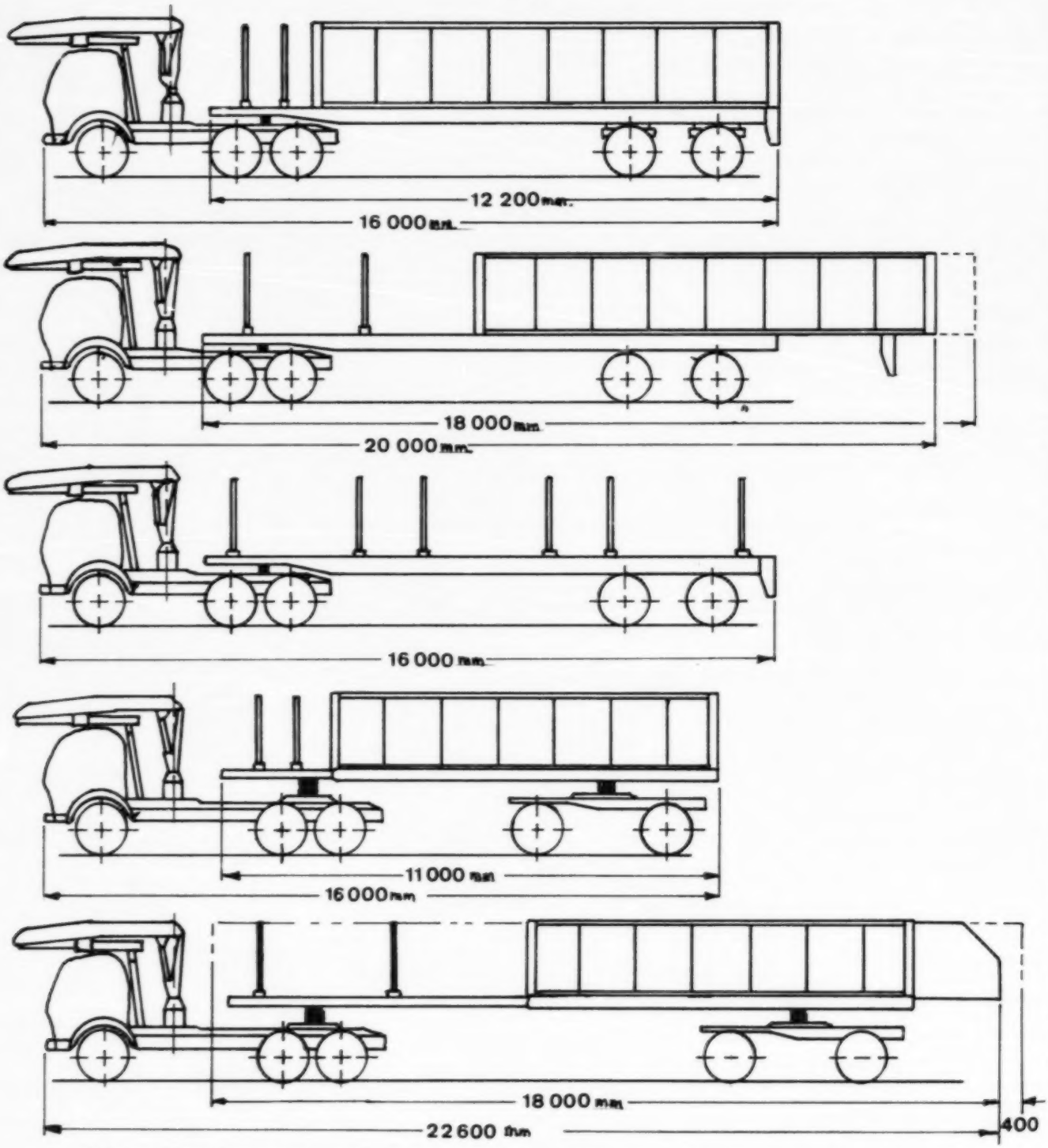



Figure 35. Remorques Doll à benne télescopique pour le transport d'arbres entiers non ébranchés. Les montants à l'avant retiennent les sections de pied des arbres. Les parois pleines retiennent les cimes. Dans l'une des remorques, la benne est amovible pour le transport de troncs entiers ou de grumes.

Figure 36. (1) Arbres entiers déchargés dans un parc central de façonnage.
(2) Camion et semi-remorque chargés d'arbres entiers.

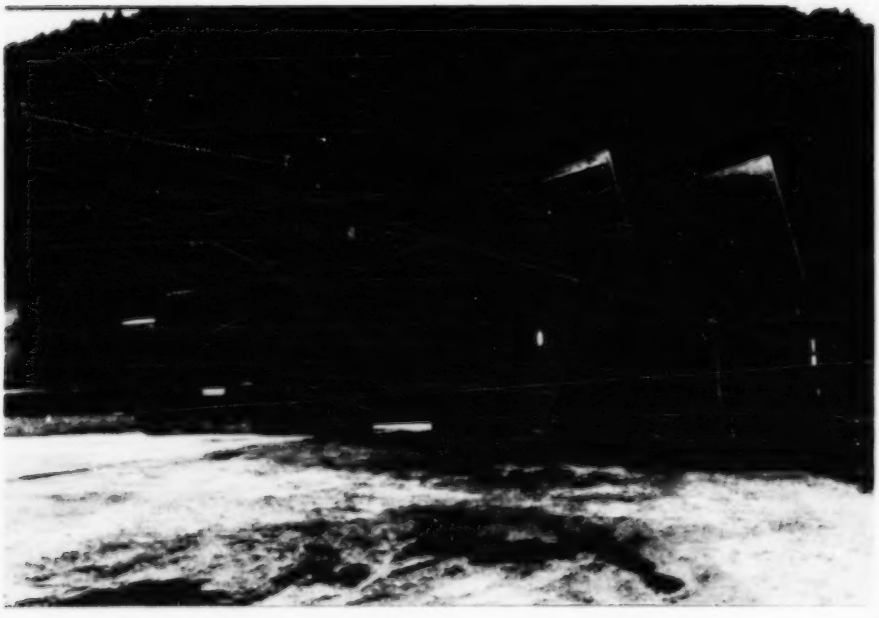


Figure 37. (1) Charge d'arbres entiers sur un chemin forestier. (2) Semi-remorque Doll montrant les montants latéraux à l'avant, les parois pleines et les parois et le plancher extensibles à l'arrière. Remarquer le pivotement automatique du pont arrière.

Figure 38. Remorques sans parois latérales, chargées d'arbres entiers.

## ÉTATS-UNIS

Comme au Canada, le transport d'arbres entiers aux États-Unis à l'échelle industrielle s'est fait sur des routes privées où ne s'appliquait aucune restriction légale. Il y a eu des essais sur des routes publiques, principalement pour le transport de produits d'éclaircies dans des plantations. Cependant, ce mode de transport n'a pas pris d'ampleur, en partie à cause de manque de remorques standard appropriées, plus encore peut-être à cause de l'incapacité à ce jour d'arriver à charger les remorques disponibles à pleine capacité.

La société Herman Brothers, de Port Angeles, Washington, a effectué une coupe rase dans des peuplements de sapin Douglas de seconde venue, dont les arbres de mauvaise qualité avaient une densité excessive (LIRA, 1984). Le transport se faisait sur un chemin forestier USFS, où les règlements applicables aux routes publiques n'avaient pas cours. Les remorques utilisées avaient chacune 4 berceaux de 8 pieds de largeur et la longueur maximale des arbres était de 90 pieds. Le chargement des arbres entiers ne prenait pas plus de temps que celui des troncs entiers. Un essai d'une durée d'une semaine a permis de constater que les charges d'arbres entiers étaient approximativement 6% au-dessous de la capacité de chargement[1].

En 1983, la Compagnie Weyerhaeuser de Plymouth, Caroline du Nord, entreprit des expériences sur le transport par arbres entiers de pin taeda de 13 à 15 ans, ayant 40 à 45 pieds de longueur et provenant d'éclaircies. Il fut impossible d'atteindre la charge maximale permise de 80 000 kg (poids brut). On voit à la figure 39 la remorque utilisée[2]. Elle a été construite par John Evans Mfg., Sumter, C.S.[3]. C'est un modèle à châssis surbaissé possédant un bas centre de gravité. Des parois en treillis montées sur le tiers arrière de la remorque retiennent les cimes. Présentement, la compagnie utilise ce type de remorque pour transporter des arbres partiellement ébranchés, ce qui lui permet d'atteindre des poids acceptables.

---

[1] Lettre personnelle. W.T. Herman, 3 janvier 1985.
[2] Lettre personnelle. M.S. Thompson, USFS, Houghton, Mich., 23 janvier 1985.
[3] Lettre personnelle. Prof. W.F. Watson, Mississippi State University, décembre 1983.

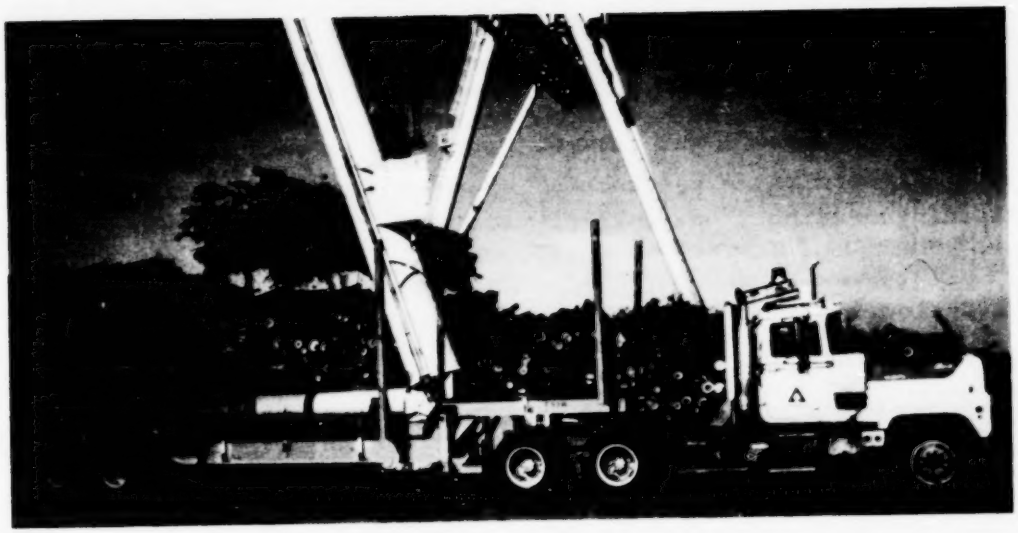


Figure 39. Remorque d'arbres entiers utilisée par la Compagnie Weyerhaeuser.

## DISCUSSION

La technologie relative au transport des arbres entiers sur les routes publiques n'est pas très développée au Canada. L'expérience européenne, plus poussée que la nôtre, est variée. En Scandinavie, on note définitivement une tendance vers la production et le transport de sections d'arbres non ébranchés, qui s'intègre bien dans les procédés habituels de production de bois courts alors qu'en Allemagne, le transport d'arbres entiers a été pratiqué depuis plusieurs années, puisque les tiges aux dimensions passablement uniformes n'avaient pas besoin d'être compactées pour former une charge de densité économique.

Au Canada, c'est jusqu'à maintenant le système d'exploitation par troncs entiers qui a dominé. La récolte des arbres entiers prend toutefois de plus en plus d'ampleur, compte tenu des avantages économiques que représente le déplacement des opérations de façonnage, depuis l'aire de coupe en bordure de route et à la jetée. L'étape suivante, qui comporte des avantages économiques encore plus grands, consiste à déplacer les opérations de façonnage dans le parc de l'usine, où la biomasse actuellement non marchande pourra être utilisée à des fins énergétiques.

Le transport économique des arbres entiers sur les routes publiques constitue un élément essentiel de cette nouvelle étape. Le problème auquel nous sommes confronté, c'est de mettre au point des dispositifs et des techniques qui assureront à l'équipement modifié de transport sur les routes publiques des rapports acceptables de charge utile/poids mort, quand ce sont des arbres entiers qui constituent la charge utile (Hamilton, 1985).

## BIBLIOGRAPHIE


Ager, Bengt H. son. 1971. Träd - och Kvisdata för utveckling av Kvistningsmaskiner. Manuskript till rapport från Skogshogskolans Institution för Skogsteknik.

Åkre, B. 1984. Location and Methods of Primary Roundwood Conversion - a Sub-Regional Status Report for the Nordic Countries. ECE/FAO/ILO Joint Committe on Forest Working Techniques and Training of Forest Workers. Izmir-Cesme, Turquie.

Alexandersson, H.T. Carlsson et L. Rådström. 1984. Transportalternativ för energirävaror. Skogsarbeten Redogörelese. ETT TFD-Projekt.

Brown, H.P, A.J. Panshin, C.C. Forsaith, 1952. Textbook of Wood Technology. The American Forestry Services. McGraw-Hill Book Co. Ltd., Toronto.

Carlsson, T. et L. Rådström. 1984. Compaction of the load presses down costs. Forest Energy in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences, Garpenberg, Suède, juin.

Carlsson, T. et M. Larsson. 1981. Komprimering av träddelar med Hydrovågs lastkomprimator - studies vid ASSI - Skinnskatteberg. Skogsarbeten, Stockholm, Suède, mai.

Carlsson, T., R. Hansen et Magnus Larsson. 1980. Lastbilstransport av stubbar, träd, träddelor och hyggesavall - Resultat av studies 1977-79. Skogsarbeten Redogörelse, ETT-TFD Projekt NR1, 1980.

Chinn, G.P. 1982. Road transport of tree lengths and full trees in Canada. IUFRO Division 3 Congress, Munich, RFA, juin.

Conner, A.L. 1978. Utilization of whole tree chips in an unbleached kraft linerboard Mill. Complete Tree Utilization of Southern Pine, FPRS, Nouvelle-Orléans, LA.

Danielsson, Bengt. Olof. 1983. Harvesting and transportation of small whole trees in Sweden. ASAE 1983. Réunion d'hiver, Chicago, Illinois, décembre. Paper 83-1599.

Drolet, J.C., R.M. Newnham et T.B. Tsay. 1971. Branchiness of jack pine, balck spruce and balsam fir in relation to mechanized delimbing. Service Canadien des Forêts, Institut d'aménagement forestier, Ottawa, Ontario. Rapport d'information FMR-X-34, juin.

Dunfield, J.D., C.R. Silversides et T.B. Tsay. 1974. Caractéristiques techniques des arbres - dimensions et poids des arbres à l'est des Rocheuses canadiennes. Service canadien des forêts. Institut d'aménagement forestier. Rapport d'information FMR-X-60F, avril.

Fogh, Ivor. 1956. Production studies outline. Woodlands Dept., Canadian International Paper Company Ltd., Montréal, Canada, avril.

Gislerud, O. 1976. Wood Chips, Production, Handling and Transport. FAO. Rome, Italie.

Grammel, R.H. 1982. Centralized tree processing and utilization of traditional logging waste. ECE/FAO/ILO Joint Committee on Forest Working Techndiques in Training of Forest workers, Seminar on Reducing Forest Biomass Losses in Logging Operations, Moscou, URSS, décembre.

Hakkila, Pentti. 1971. Coniferous branches as a raw material source. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 75.1, Helsinki.

Halyk, R.M. et E.R. Norris. 1979. The Role of material density in the evolution of forage harvesting systems. Transactions of ASAE. Vol. 15, No. 1, 1972.

Hamilton, D.D. 1985. Proposed apparatus for the Transport of Full Trees over Public Roads. Note à l'intention de FERIC, mars.

Häggblom, R. et V. Pennanen. 1983. Harvesting and truck transport of part trees from a clean cut stand. Metsäteho Report No. 380, Helsinki.

Jonsson, Yngve. 1982. Forest energy in Sweden during the eighties. Skogsarbeten Results, No. 1, 1982 (Mémoire présenté à la réunion d'hiver de l'ASAE, Chicago, Illinois, 15-18 décembre 1981).

Keen, R.E. 1963. Weights and centres of gravity involved in handling pulpwood trees. Pulp & Paper Research Institute of Canada, Technical Report 340, Woodlands Research Index No. 147, novembre.

Kollman, F.F.P. et W.A. Cote. 1968. Principles of Wood Science and Technology I. Solid Wood. Springer-Verlag, New-York, N.Y.

Lafond, André. 1960. Notes pour l'identification des types forestiers des concessions de la Québec North Shore Paper Company, Baie Comeau, P.Q.

Larsson, M. et T. Carlsson. 1982. Trucking of logging residues and tree sections. Compte rendu du "Sixth International FPRS Industrial Wood Energy forum", Washington, D.C.

Larsson, Magnus. 1980. Development of transportation systems for logging residues, stumps and trees in Sweden. Skogsarbeten Ekonomi. No. 3E.

Lavoie, Jean-Marc. 1980. Le transport d'arbres entiers de la souche jusqu'au parc à bois de l'usine. Rapport technique de FERIC RT-44, décembre.

LIRA. 1984. Newsletter of the Logging Industry Research Association Vol. 9 No. 5. Rotorua, Nouvelle-Zélande, avril.

Mannisto, R.E. et A.D. Lovas, 1984. Report on the Whole Tree Winter Field Trial, December 1983. Internal Report, Kimberly-Clark of Canada Limited, Pulp and Forest Products Operations. 7 février.

Metsäalan 1968 työehtosopimus ja sen mukaiset metsätyöpalkkojen taulukot. Palkkausalue 4. Helsinki.

Muraro, S.J. 1966. Lodgepole pine logging slash. Dept. of Forestry, Canada, Publication Number 1153.

Peltola, Hannu. 1976. Truck Transport of Whole tree raw material. Metsateho Report 340, Helsinki, Finlande.

Rothier, Jean-Guy. 1982. Implications of full-tree harvesting for biomass recovery. Rapport LAU-X-50E, Service Canadien des Forêt, Québec, P.Q.

Rudolph, P.O. 1956. Guide for Selecting Superior Forest Trees and Stands in the Lake States. Sta. Pap. 40. St-Paul Mn, U.S.D.A. Forest Service Lake States Forest Experiment Station.

Sayn-Wittgenstein, L. 1978. Recognition of tree species on aerial photographs. Service Canadien des Forêt. Institut d'aménagement forestier, Ottawa, Canada. Rapport d'information FMR-X-118, novembre.

Schiess, P. et K. Yonaka. 1982. Evaluation of the whole tree baler and its potential for use in biomass plantations in the Pacific Northwest. College of Forest Resources, University of Washington, Seattle, WA.

Schiess, P. et K. Yonaka. 1983. Baling, a new concept in residue handling. Compte rendu: "First Technical Conference on Timber Harvesting in the Central Rockies". Colorado State University, Fort Collins, Colorado, janvier.

Skaar, R. et O.J. Weforld. 1979. Veitransport ov Hele Traer og Heltreflis. Heltre 1975-1978 Sluttraport. Skogsbrukets og Skogindustrienes Fviskiningsräd (SSFR), janvier.

Spurr, Stephen. 1948. Aerial photographs in forestry. The Ronald Press Company, New-York, N.Y.

Trimar Consulting Services Ltd. 1984. Operating costs of trucks in Canada - 1984. Transport Canada, Ottawa, septembre.

Vorobiev, I.V. 1963. The use of branching makchines in the U.S.S.R. FAO European Forestry Commission Study Group on Forest Machine Development. Fourth Session. 20-24 janvier (traduction anglaise).

Wibstak, K. 1976. Long-distance hauling of whole trees and green chips. FAO/ECE/ILO Symposium on the Harvesting of a Larger Part of the Forest Biomass. Hyvinkää (Finlande), juin.

Wile, B.C. 1964. Crown size and stem diameter in red spruce and balsam fir. Dept. of Forestry, Canada. Publication Number 1056.

Wilson, B.F. 1970. The Growing Tree. University of Massachusetts Press, Amhurst, Mass.

Wipperman, H.J. 1984. Location and methods of primary conversion in Central European Countries - a Sub-Regional Status Report of Central Europe. FAO/ECE/ILO Joint Committee on Forest working Techniques and Training of Forest workers, 15th Session, Izmir-Cesme, Turquie, mai.

Zundel, Pierre. 1984. Jack pine biomass field studies - final report. FERIC, Pointe-Claire, P.Q., octobre.

Zsilinsky, Victor. 1966. Photographic interpretation of tree species in Ontario. Ontario Dept. of Lands and Forests. Toronto, Ontario.